



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>



JAHRESBERICHT 2016 **ANNUAL REPORT 2016**

JAHRESBERICHT 2016
ANNUAL REPORT 2016



**WAS SICH
ZU TUN LOHNT,
LOHNT SICH,
GUT ZU TUN.**

Philip Dormer Stanhope Lord Chesterfield



Beton kann auch anders	11
------------------------------	----

FORSCHUNG**RESEARCH..... 12**

Forschung am IMB <i>Research at IMB</i>	14
Verbund zwischen Carbon und Beton <i>Bond between carbon and matrix</i>	16
Das neue Bauen? <i>A new way of construction?</i>	18
Carbonbeton schwingt <i>Carbon concrete swings</i>	20
Die Verantwortung des Versagens <i>The responsibility for failure</i>	22
Aus Vergangenem lernen <i>Learning from the past</i>	24
NORMalität für Carbonbeton <i>Standards for carbon concrete</i>	26
Nachhaltigkeit von Carbonbeton <i>Sustainability of carbon reinforced concrete</i>	28
Sicherer Rückhalt für Carbon-Spannglieder ohne Verbund <i>Compact anchorage elements for carbon tendons</i>	30
autartec® – für die Zukunft denken <i>autartec® – thinking for the future</i>	32
Die Zukunft der Preußischen Kappe <i>The future of the Prussian cap</i>	34
Parkhausplatte aus Carbonbeton <i>Parking decks made of carbon concrete</i>	36
Leichtes Carbonbetondeckenelement <i>Light carbon concrete element</i>	38
CFHT kurz und knapp verankert <i>Short and tight CFHT anchorage</i>	40
Textilbeton unter Druck <i>TRC under compression</i>	42
Textilbeton ausgelegt für den Extremfall <i>Textile reinforced concrete designed for worst cases</i>	44
Plattenversuche mit durchschlagender Wirkung <i>Impact testing with piercing effects</i>	46
Fallversuche bis 150 m/s <i>Drop tests up to 150 m/s</i>	48
Kaputt ist nicht gleich kaputt <i>Fractured is not equal to almost fractured</i>	50

Teamwork vom Feinsten – Beton und Stahl <i>Teamwork at its best – concrete and steel</i>	52
DEM-Simulation von Ausziehversuchen <i>Simulation of pull-out tests using discrete element method</i>	54
DEM-Simulation von Betonkomponenten <i>Simulation of concrete components using discrete element method</i>	56
UHPC beim Ultraschalltest <i>UHPC in the ultrasonic test</i>	58
Aufgetaucht – Beton in der Tiefsee <i>Turned up – concrete in the deep sea</i>	60
Stützen kraftflussgerecht formen <i>Columns shaped as a function of loading</i>	62
Schicht auf Schicht: Sandwichplatten <i>Layer by layer: sandwich slabs</i>	64
Willy Gehler – auf den Spuren eines Genies? <i>Willy Gehler – on the tracks of a genius?</i>	66
Straßenbrücken im Bestand – Symbiose von Forschung und Praxis <i>Existing road bridges – symbiosis between research and practice</i>	68

DAS C³-PROJEKT**THE C³ PROJECT..... 70**

Stand des Wissens <i>Current scientific knowledge</i>	73
Status Quo der aktuellen Vorhaben im C ³ -Projekt <i>Status quo of the research projects in the frame the C³ project</i>	78
Neuigkeiten aus dem C ³ -Konsortium <i>News from the C³ consortium</i>	81
Das C ³ -Projekt in der Öffentlichkeit <i>The C³ project in the public</i>	82

LEHRE**TEACHING..... 90**

Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau <i>Lectures at the Institute of Concrete Structures</i>	92
Projektarbeiten <i>Project works</i>	99
<i>Project works</i>	109
Diplom- und Bachelorarbeiten	113
<i>Master's thesis 2015/16</i>	132
Brückenbauexkursion 2016 Rheingebiet und Niederlande	147



Schülerpraktikum MANOS	149
Preise und Ehrungen	
<i>Prizes and honors</i>	150

OTTO-MOHR-LABORATORIUM

OTTO MOHR LABORATORY..... 152

Testen auf höchstem Niveau	
<i>Testing at the highest level</i>	154
Leistungen	
<i>Services</i>	156
Ausstattung	
<i>Equipment</i>	158
Im Focus: 20-MN-Belastungsrahmen	
<i>In the focus: 20 MN load bearing frame</i>	162
Die Balustraden der „Stillen Musik“	
<i>The balustrades of the ‘Silent Music’</i>	164
Beton unter sehr hohen Lastwechselzahlen	
<i>Concrete under high load cycles</i>	166
Nichtmetallische mechanische Verbindungen	
<i>Non-metallic mechanical joints</i>	168
FEM versus experimenteller Nachweis	
<i>FEM versus experimental evidence</i>	170

DAS INSTITUT 172

Brücken verbinden Menschen.....	175
Projekttag – eine Spurensuche auf historischen Pfaden.....	177
Beton Art.....	177
Die erste C ³ -Konferenz war ein voller Erfolg	178
Verleihung des Kurt-Beyer-Preises.....	178
Eine spannende Lange Nacht.....	179
Ein Ort im Land der Ideen: C ³ – Carbon Concrete Composite	180
Beyer-Bau adé	181
Eine schwungvolle Präsentation	181
Ideen werden zu Kunst.....	182
Beim „Betonkunst-Tag“ im Otto-Mohr-Laboratorium war Kreativität gefragt	182
Festkolloquium zum 60. Geburtstag von Manfred Curbach.....	183
Tag der Deutschen Einheit in Dresden	183
Die Zukunft hat bereits begonnen.....	184

C ³ im MDR bei „Einfach genial“	185
Alle Jahre wieder.....	185
Promotion	186
Das Institut in Zahlen und Fakten	188
Publikationen	198
Team.....	202
Dank an unsere Förderer	203
Cartoon.....	204
Impressum	205

Prof. Manfred Curbach (r.) und
Prof. Ulrich Häußler-Combe
vom Institut für Massivbau,
TU Dresden

BETON KANN AUCH ANDERS

So schreibt es Joseph Scheppach von der Deutschen Presseagentur dpa auf @Heise online. Und wir können dem nur zustimmen!

Seit über zwei Jahrzehnten arbeiten wir an einer Weiterentwicklung des Bauens mit Beton, hin zu einem ökologisch verantwortbaren Massenbaustoff, der jedoch durch seine Filigranität und Leichtigkeit eine neue Formensprache in der Architektur ermöglicht und gleichzeitig Ressourcen in Größenordnungen spart und den CO₂-Ausstoß drastisch reduziert. Was als Textilbeton begonnen wurde, heißt heute durch die starke Konzentration auf das bestmögliche Bewehrungsmaterial Carbonbeton und wurde vom Bundespräsidenten mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet.

Wenngleich der Preis an drei Personen übergeben wurde, so verstehen wir diesen Preis vielmehr als eine Auszeichnung all derjenigen, die sich heute mit großem Engagement und Herzblut um die immer stärker werdende Markteinführung kümmern. Dies betrifft die Forscher ebenso wie die Unternehmer und die Mitglieder in den Verbänden.

Und es ist der Ausdruck einer Wertschätzung, die dem gesamten Bauwesen zuteil wird. Eine Branche, die mit der großen Verpflichtung für eine zuverlässige Umsetzung von Sicherheit eher zu den Bereichen gezählt wird, die wenig innovationsfreudig zu sein scheinen, steht dank des Preises im Mittelpunkt und kann zeigen, dass sich das Bauen zwar vielleicht langsam,

aber doch nachhaltig verändert. Angesichts des enormen Ressourcen- und Energieverbrauchs dieser einen Branche ist es tatsächlich an der Zeit, dass diese Veränderungen auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden.

Gleichzeitig ist der Preis auch eine Aufforderung an uns alle, den eingeschlagenen Weg weiter zu gehen und für eine weitere Verbreitung von Carbonbeton zu sorgen.

Wenngleich es so scheinen mag, als ob die Erforschung von Carbonbeton das wichtigste Thema am Institut sei, wollen wir darauf hinweisen, dass zum Beispiel die Impaktforschung oder die Arbeiten zum mehraxialen Verhalten von Beton eine große Bedeutung für die Sicherheit unserer gebauten Umwelt haben, unabhängig davon, ob es sich um natürliche oder anthropogene Ursachen handelt.

Wir danken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts für ihren unermüdlichen Einsatz in Forschung und Lehre, wir danken allen Kolleginnen und Kollegen anderer Institute und Universitäten im In- und Ausland für ihre Unterstützung und die wertvolle Zusammenarbeit. Und wir danken all den Unternehmen, die uns mit ihrem Interesse für unsere Arbeit begleiten und denen wir das Angebot einer weiteren intensiven Zusammenarbeit unterbreiten.

Mögen Sie nun viel Freude an unserem Jahresbericht 2016 haben.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe



FORSCHUNG

RESEARCH

FORSCHUNG AM IMB

Research at IMB



Die Textilbetongruppe des IMB | The textile concrete group of the Institute of Concrete Structures | Photo: Ulrich van Stipriaan

Das Institut für Massivbau (IMB) ist eines von elf Instituten an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden. Am IMB wird in vier Forschergruppen zu verschiedensten Themen rund um das Bauen mit Beton geforscht. Die Bandbreite reicht von der Modellierung des Zusammenwirkens einzelner Teilchen bis zur experimentellen Untersuchung von ganzen Bauteilen. Wir beschäftigen uns mit speziellen Materialeigenschaften von Beton, dessen Verbund zum Bewehrungsstahl, mit dem Einfluss unterschiedlichster

The Institute of Concrete Structures (in short: IMB) is one of eleven institutes at the Faculty of Civil Engineering at the Technische Universität Dresden. At the IMB, research is being carried out in four research groups on various topics related to building with concrete. The range extends from the modeling of the interaction of individual particles to the experimental investigation of whole structural components. We are involved in several research areas, among them are special material properties of various concretes from light-weight to ultra-high

Lastszenarien vom statischen und zyklischen Dauerversuch bis zum Impakt, mit optimierten Bauweisen für den Neubau und alternativen Methoden zum Erhalt des Bestehenden.

Unsere aktuellen Projekte können folgenden Forschungsschwerpunkten zugeordnet werden:

- Eigenschaften von Betonen verschiedenster Zusammensetzung,
- Verbund zwischen Bewehrung und Matrix,
- Spezielle Belastungsszenarien wie Impakt- und mehraxiale Beanspruchungen bei Material- und Bauteilversuchen,
- Simulation mit DEM und FEM, Erarbeitung von Stoffgesetzen und Bemessungsverfahren,
- Textile Bewehrungen – vor allem aus Carbonfasern – für Verstärkung und Neubau,
- In-situ-Belastungsversuche und Langzeitüberwachung von Bauwerken,
- Sonstige Forschungsthemen.

Neben der reinen Grundlagenforschung, z. B. zur Frage der mehraxialen Festigkeit von Betonen oder zum Einfluss von textilen Bewehrungen auf die einaxiale Druckfestigkeit von zementgebundenen Matrices, nehmen gemeinsame Projekte mit Praxispartnern einen hohen Stellenwert ein, denn dies ist die beste Methode, Forschungsergebnisse in die Baupraxis zu überführen. Auch der gegenseitige wissenschaftliche Austausch mit Forschern anderer Universitäten und Forschungseinrichtungen hat einen großen Stellenwert. Gemeinsame Veranstaltungen und Gespräche bspw. im Rahmen der Treffen des Schwerpunktprogramms 1542, der verschiedenen Verbundvorhaben im Zwanzig20-Projekt C³, im Forschungsverbund ROBEX oder bei der Gremienarbeit bspw. zur Neuauflage der DAfStb-Hefte 220/240, im Unterausschuss Ultrahochfester Beton oder in der fib task group „History of Concrete Structures“ sind für alle Teilnehmer gewinnbringend und Ideenpool für neue, gemeinsame Vorhaben gleichermaßen.

performance, the combination of concrete with different type of reinforcement, with the effect of different load scenarios from static and cyclic durability to impact on the load bearing capacity, the optimization of construction methods for new buildings and alternative methods for maintaining the existing ones.

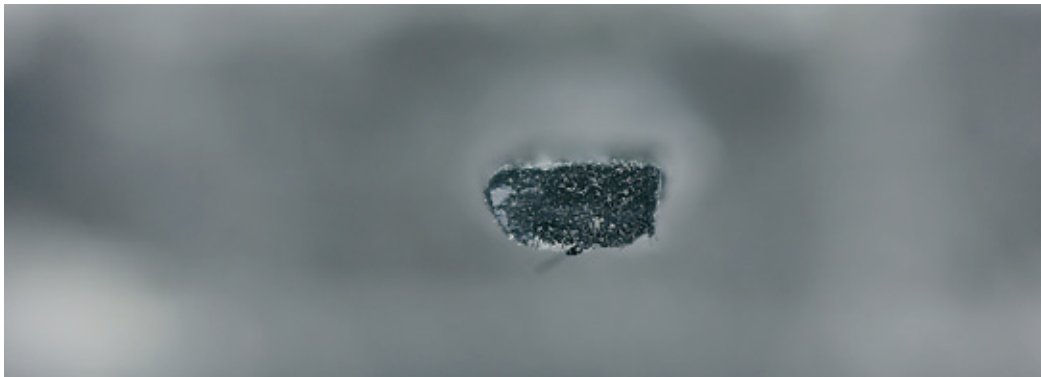
Our current projects can be grouped into the following research areas:

- *Properties of concretes of various composition,*
- *Bond between reinforcement and matrix,*
- *Special stress scenarios such as impact and multi-axial stresses in material and component tests,*
- *Simulation with DEM and FEM, development of constitutive laws and design procedures,*
- *Textile reinforcements – mainly made of carbon fibres – for the strengthening of existing structures and new constructions,*
- *In-situ load bearing tests and long-term monitoring of structures,*
- *Other research topics.*

In addition to pure fundamental research, e.g. about the question of the multi-axial strength of different concretes or the effect of textile reinforcements on the uniaxial compressive strength of cementitious matrices, joint projects with industrial partners are of great importance, as this is the best method to transfer research results into the building practice. Furthermore, mutual scientific exchange with researchers from other universities and research institutes is also of great importance. Joint meetings and discussions, such as those within the framework of the Priority Programme 1542, the various collaborative research projects within the Twenty20 project C³, the ROBEX alliance, or, e.g., the committees work on the new edition of the DAfStb booklets 220/240, the subcommittee on UHPC or in the frame of the fib TG 'History of Concrete Structures', are profitable for all participants and a pool of ideas for new joint projects.

VERBUND ZWISCHEN CARBON UND BETON

BOND BETWEEN CARBON AND MATRIX



Querschnitt eines ungleichmäßig getränkten Carbonrovings, zu sehen an den Ansammlungen der polymeren Tränkung (graue Bereiche), was zu erhöhter Wasseraufnahme führt. | Cross section of an unevenly impregnated carbon roving. The gray areas are accumulations of the polymer impregnation what results in increased water absorption. | Photo: Frank Neumann

Als korrosionsunempfindliche, dauerhaftere und tragfähigere Ergänzung zur bekannten Betonbauweise mit Stahlbewehrung werden Bewehrungen aus Carbonfasern untersucht. Zusammengefasst zu Rovings – Bündeln aus vielen Tausend Endlosfasern –, zu offenmaschigen textilen Gelegen verarbeitet und anschließend zur Optimierung mit einer Polymertränkung versehen, können die Fasern effektiv zum Lastabtrag im Beton eingesetzt werden. Es entsteht der Verbundwerkstoff Carbonbeton. Da dieser aufgrund der Vielzahl seiner Komponenten ein sehr komplexer Baustoff ist, bleibt auch nach Jahren der Entwicklung die Wechselwirkung zwischen den Bestandteilen ein zentrales Thema der Carbonbetonforschung. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Verbund zwischen Gelege und Beton.

Bisher konnten bereits verschiedenste Einflussfaktoren auf das Verbundverhalten zwischen polymergetränkten Carbonrovings und hydraulisch gebundenen Matrices identifiziert werden. Dazu gehören u. a. die Querschnittsform der Rovings sowie globale und lokale Abweichungen von der gestreckten Rovinglage, die durch die textile Verarbeitung entstehen. Im Hinblick auf die Temperaturstabilität wird v.

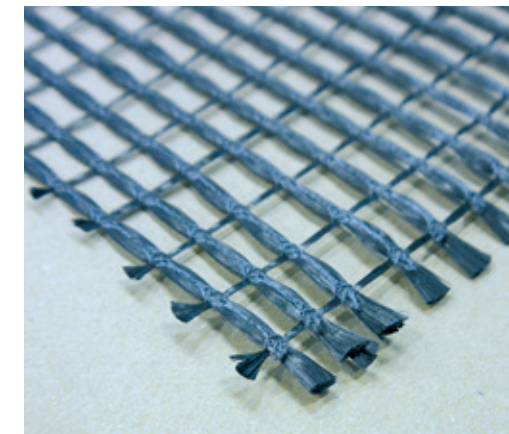
As an alternative to common steel reinforcements, carbon fibre reinforcements have been investigated for many years. This type of reinforcement is resistant to corrosion, more durable, and it has a higher load-bearing capacity than that of steel. Fibre bundles made of thousands of filaments are called rovings. From these rovings, textile grids are produced and coated, often with a polymer matrix, to ensure and optimize the load transfer between textile grids and concrete. But the interaction between the two components, carbon, and concrete, is mostly unknown and remains a key research issue. Of particular interests to current research efforts are the bond behavior between the single filaments, the roving and the polymer matrix as well as between polymer matrix and concrete.

As of now, some parameters influencing the bond-behaviour between carbon fibers with a polymer coating and the concrete have already been identified. These include the chemical composition of the coating, the local and global geometry of the cross-section areas, the mesh size and the local or global undulation due to the production process of the rovings and grids. Within the C³ basic project C3-B1, the

a. die chemische Zusammensetzung der Polymertränkung maßgebend.

Innerhalb des C³-Basisvorhabens C3-B1 wurde nun das Verbundverhalten von textilen Gelegen mit verschiedensten Polymertränkungen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 80 °C untersucht. Dabei zeigte sich vor allem ein Einfluss der Glasübergangstemperatur der Tränkung auf den Verbund zwischen Roving und Beton. Ist diese zu niedrig, kommt es zu einer Erweichung der Beschichtung unterhalb der bemessungsrelevanten Temperatur von 80 °C und damit zu einer Verringerung der übertragbaren Verbundspannungen. Entscheidenden Einfluss hat auch das Wasseraufnahmevermögen der getränkten Carbonrovings. Diffusionsoffene Gelegestrukturen oder solche mit hoher Kapillarität entziehen dem frischen Beton Wasser. Das führt zu einer Verminderung des w/z-Wertes in Rovingnähe, dort zu einem beschränkten Wachstum der verbundfördernden Calciumsilikathydratphasen und zur vermehrten Bildung von hierfür ungünstigerem Portlandit an der Grenzfläche zwischen Carbongelege und Betonmatrix. Die Aufrechterhaltung des vorgesehenen w/z-Wertes ist daher gerade in der Verbundzone von entscheidender Bedeutung für die Ausbildung eines ausreichend guten Verbundes.

Textiles Gelege mit guten Verbundkennwerten bis 80 °C | Carbon grid with good bond behavior up to 80 °C | Photo: Frank Neumann



bond behavior of carbon reinforced concrete is investigated at temperatures between 20 °C and 80 °C. As a result, additional factors influencing the bond behavior were identified. Besides the glass transition temperature of polymer coatings, the water absorption capacity of carbon grids influences the bond behaviour. If the glass transition temperature is lower than the expected or applied temperature, coatings are getting soft and the bond between coating and concrete will be reduced significantly. As a direct consequence of this, the roving will be pulled out of the concrete under tensile load.

The water absorption capacity of the carbon grid directly influences the growth of the so-called calcium silicate hydrate phases. In addition to other well-known effects caused by reduced w/c-ratio, the lack of water within the bond zone increases the growth of portlandite. The loss of water, within the vicinity of fresh concrete surrounding the rovings, namely the bond zone, depends on the capillarity or permeability of the textile grids. The smaller the spacing of the rovings, or mesh size, the higher is the loss of water. Keeping this effect in mind, the w/c-ratio shall be optimized, especially in-between the bond zone, which means the interphase between concrete and polymer coating. Such a consideration is of tremendous importance to ensure a high strength bond behaviour.

- **Titel | Title**
TP C3-B1-I-c: Anforderungen an Bewehrungsstrukturen sowie Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen Textil und Beton als Teilvorhaben im Basisvorhaben C3-B1: Beschichtungen und Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau
TP C3-B1-1a-I-c: Requirements on reinforcement structures and studies of the bond behaviour between textile and concrete as part of the basic project C3-B1: Coatings and reinforcement structures for carbon concrete constructions.
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite
- **Zeitraum | Period**
05.2015 – 01.2017
- **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann
- **Projektpartner | Project partners**
15 Partner, darunter 5 Forschungseinrichtungen und 10 Unternehmen

DAS NEUE BAUEN?

A NEW WAY OF CONSTRUCTION?

Innerhalb des C³-Projektes C3-B2 wurden neue Betonrezepturen für Carbonbeton entwickelt. Zum Abschluss des Vorhabens sollte die Praxistauglichkeit einer ausgewählten Rezeptur in einem Großbauteilversuch nachgewiesen werden. Dabei war die Vorgabe, einen Standard-Stahlbetonträger und einen vergleichbaren Träger mit alternativer Bewehrung (hier kurz: Carbonbetonträger) herzustellen. Somit sollte ein Vergleich zwischen den beiden Werkstoffen geschaffen werden. Für die Konzeption und Bemessung des Carbonbetonträgers wurde vom C3-B2-Verbundvorhabenleiter, dem Institut für Baustoffe der TU Dresden, das Institut für Massivbau herangezogen.

Eines der Ziele des gesamten C³-Projektes ist ein ressourcensparendes Bauen. Aus diesem Grund wurde versucht, die Geometrie des Stahlbetonträgers in eine schlanke und carbonbetongerechte Form zu überführen. Ausgehend vom vorgegebenen, standardmäßig bemessenen und nicht optimierten Stahlbetonquerschnitt wurde zunächst die Höhe des oberen Flansches, der sich in der Druckzone befindet, beim Carbonbetonträger von ursprünglich 20 cm auf 7 cm verringert. Zum einen ist bei Carbon- oder

Within the C³-project C3-B2, new concrete mixtures for carbon reinforced concrete were developed. By the project's completion, a large component test was planned for a selected concrete mix to prove the practical suitability of this mix. The aim was to produce both a standard reinforced concrete beam made of normal strength concrete and a comparable beam made of carbon reinforced concrete. So, a direct comparison between the two materials should be possible. For the conceptual design and the structural calculations, the project manager, the Institute of Construction Materials of the TU Dresden, requested the support of the Institute of Concrete Structures.

One of the goals of the C³-project as a whole is resource-saving construction. For this reason, the carbon concrete beam was designed to be as slim as possible. In relation to the given, standardized and non-optimized steel reinforced concrete cross section, the beam made of carbon reinforced concrete was optimized. By using a new developed concrete with a strength class of C50/60 instead of the strength of C30/40 used in the steel reinforced concrete beam, the thickness of the compression zone

AR-Glasbewehrung eine geringere Betondeckung nötig als bei Stahl, zum anderen konnte der C³-Beton in die Festigkeitsklasse C50/60 anstelle des C30/40 für den Stahlbetonträger eingeordnet werden. Die Stegbreite wurde von 20 cm auf 10 cm verringert. Auch im Biegezugbereich des Trägers konnte Beton eingespart werden, da die Betondeckung nur noch zur Sicherstellung des Verbundes und nicht mehr zum Korrosionsschutz benötigt wird.

Als Bewehrungsmaterialien wurden Carbongelege und AR-Glasstäbe verwendet. Letztere sollten die Zugkräfte infolge Biegung aufnehmen, den Lastfall Transport abdecken sowie den Anschluss zwischen Gurt und Steg sicherstellen. Ursprünglich waren Carbonstäbe angedacht, die aber noch nicht in der gewünschten Konfiguration lieferbar waren. Die Carbongelege wurden als Oberflächen- und Querkraftbewehrung verwendet. Schlussendlich ist ein stahlfreier Träger entstanden, dessen Querschnittsfläche im Vergleich zum Stahlbetonträger lediglich 50 % beträgt. Auch die Bewehrungsmenge konnte um ein Vielfaches vermindert werden. So betrug die Bewehrungsmenge für den Stahlbetonbinde 236 kg, die des Carbonbetonträgers gerade einmal 55 kg.

Die Herstellung der Träger erfolgte im Betonwerk Oschatz. Die Bauteilprüfungen der je zwei Stahl- und Textilbetonträger zur Bestätigung des prognostizierten Tragverhaltens wurden im Otto-Mohr-Laboratorium erfolgreich durchgeführt.

was reduced from 20 cm to 7 cm. Additionally, the web's width could be reduced from 20 cm to 10 cm. Moreover, it was possible to save concrete in the tensile zone, because the concrete cover is only needed to ensure the bond between reinforcement and matrix, and it's no longer needed for corrosion prevention.

Carbon textiles and bars made of alkali-resistant (AR) glass fibers were used as reinforcement. The AR glass bars had to be used because carbon fiber bars were not available in the desired configuration at the time. The bars had to carry the tensile forces that resulted from bending and from handling, and they also had to connect the beam's web and flange. The carbon textile layers were used as surface and shear reinforcement. The final result was a steel-free beam emerged, whose sectional area had been reduced to half of that of the reinforced concrete beam. In addition, the amount of AR glass and carbon reinforcement – all together only 55 kg – was reduced considerably compared with the 236 kg necessary steel reinforcement in the reinforced concrete beam.

All beams were produced in the concrete plant Betonwerk Oschatz. The component testing to confirm the predicted load bearing behaviour for both the steel reinforced and textile reinforced concrete beams was successfully accomplished in the Otto-Mohr-Laboratory.



Herstellung des Bewehrungskorbs | Preparation of the reinforcing cage | Photo: Alexander Schumann



- **Titel | Title**
Konzeption eines Textilbetonträgers für das Vorhaben C3-B2
Design of a textile reinforced beam for the project C3-B2
- **Förderer | Funding**
Institut für Massivbau, TU Dresden
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Zeitraum | Period**
04.2016–11.2016
- **Bearbeiter | Contributors**
Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dr.-Ing. Harald Michler
- **Projektpartner | Project partners**
Institut für Baustoffe, TU Dresden | Betonwerk Oschatz GmbH

CARBONBETON SCHWINGT

CARBON CONCRETE SWINGS

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die breite Anwendung eines Werkstoffes in der Baupraxis sind belastbare Materialkennwerte, mit denen das Tragverhalten von Bauteilen ermittelt werden kann – so auch für Carbonbeton. Um einen wesentlichen Baustein hierfür zu schaffen, wurden im Basisvorhaben C3-B3 des Projekts C³ – Carbon Concrete Composite zunächst Standardversuche zur reproduzierbaren Charakterisierung des Verbund- und Zugtragverhaltens des Verbundwerkstoffs festgelegt.

Da für eine Erweiterung des Anwendungsbereichs für Carbonbeton auch das Ermüdungsverhalten nachzuweisen ist, sollten anschließend Versuchseinrichtungen für die Prüfung des Zugtrag- und Verbundverhaltens von Carbonbeton unter nicht vorwiegend ruhender, zyklischer Beanspruchung entwickelt und getestet werden. Für diesen Zweck wurden die vorhandenen Prüfmethoden

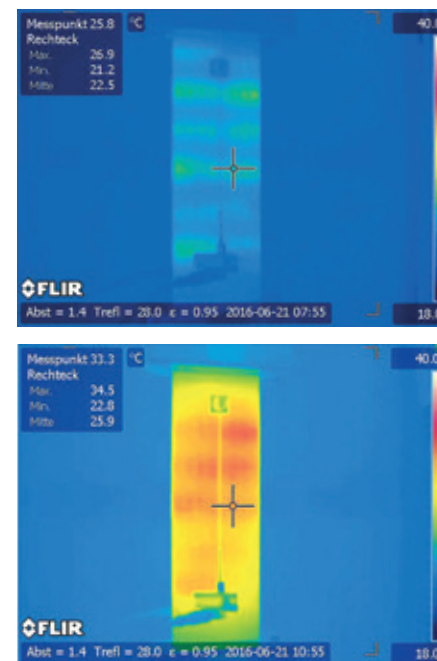
One of the most important requirements for a broad application of a new material in the construction industry is the availability of reliable material characteristics, which can be used to determine the load-bearing behaviour of structural elements. As this requirement was seen as an essential first step toward introducing the material into the market, standard test methods for a reproducible characterization of bond and tensile load bearing behaviour were determined within the basic project C3-B3 of the project C³ – Carbon Concrete Composite.

Subsequently, testing facilities for the assessment of tensile load bearing behaviour and bond behaviour under non-predominantly static, cyclic loads were to be developed and tested, since a characterization of the fatigue behaviour of carbon concrete was needed for an even wider range of applications. For this purpose,

Aufbau eines zyklischen Zugversuches |
Setup of a cyclic tensile test
| Photo: Doreen Sonntag



Temperaturentwicklung während des Versuchs |
Temperature development during the test
| Photo: Thomas Häntzschel



in Zusammenarbeit mit der MFPA Leipzig GmbH und der RWTH Aachen kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert. In den Tests zeigte u. a. der verwendete, bereits standardisierte Zugversuch eine sehr gute Eignung für zyklische Untersuchungen am Verbundwerkstoff Carbonbeton und zur Bestimmung erster Materialkennwerte. In den Versuchen wurden beispielsweise Einflüsse von Belastungsfrequenz und Lastniveau auf das Materialverhalten untersucht. Dabei erwies sich eine Begrenzung der Prüffrequenz auf maximal 10 Hz als sinnvoll. Höhere Prüffrequenzen – untersucht wurden bis zu 30 Hz – führten dagegen zu einem Aufschwingen der Probe. Zudem wurde durch eine Variation von Lastniveau und Amplitude versucht, die Spannungsabhängigkeit der Schwingfestigkeit von Carbonbeton zu ermitteln. Die bisherigen Ergebnisse legen eine Mittelspannungsabhängigkeit nahe. Dies ist jedoch noch durch weitere Untersuchungen zu belegen.

Um zu klären, inwieweit es durch die dynamische Belastung zu einer Zunahme der Probentemperatur kommt, wurde die Temperaturentwicklung exemplarisch während eines Ermüdungsversuchs untersucht. Mit einer Infrarotkamera konnte dabei eine deutliche Erwärmung des Probekörpers um bis zu 10 K gegenüber der Umgebungstemperatur beobachtet werden. An den Rissen lag die Temperatur dabei um bis zu 3 K höher als auf der übrigen Probenfläche, was auf die Reibung zwischen Beton und Bewehrung insbesondere an den Rissen als Ursache für die Erwärmung schließen lässt. Versuche zum Ermüdungsverhalten des Verbundes zwischen Carbon und Beton sind zurzeit noch Gegenstand der Forschung, die im Rahmen weiterer Teilprojekte des C³-Vorhabens fortgeführt wird.

existing and newly developed test methods were continuously refined and optimised in cooperation with the partners MFPA Leipzig GmbH and RWTH Aachen University. The standardised setup for tensile tests applied here proved to be very suitable for cyclic testing on the composite material carbon concrete and the determination of material characteristics. In the tests, for instance, the impact of load frequency and load level on the material behaviour was evaluated. It turned out that limiting the test frequency to a maximum of 10 Hz is advisable. Higher frequencies – up to 30 Hz were tested – lead to resonant oscillation of the specimen. Moreover, by varying load level and amplitude, an identification of the stress dependence of the fatigue behaviour, was attempted. Current results suggest a dependence on mean stress. However, this has yet to be verified by further research.

To clarify, whether the application of dynamic loads leads to an increase of specimen temperature, temperature development was investigated experimentally in one of the fatigue tests. With an infrared camera, a significant temperature increase of the test specimen of up to 10 K compared to the ambient temperature was observed. Around the cracks the temperature was up to 3 K higher than on the other parts of the specimen surface, indicating that friction between concrete and reinforcement causes increased temperatures especially around the cracks. The fatigue behaviour of the bond between carbon and concrete is still the subject of current research that is being continued within further subprojects of C³.

► Titel | Title

TP C3-B3-I-a: Entwicklung von Bemessungs- und Sicherheitskonzepten sowie standardisierter Prüfkonzepte zur Materialcharakterisierung von Carbonbeton im Basisvorhaben C3-B3: Konstruktionsgrundsätze, Sicherheits- und Bemessungskonzepte sowie standardisierte Prüfmethode für Carbonbeton

TP C3-B3-I-a: Development of safety and design concepts as well as standard test concepts for the material characterisation of carbon reinforced concrete as part of the basic project C3-B3: Construction principles, safety and design concepts as well as standardised test methods for carbon reinforced concrete

► Förderer | Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► Zeitraum | Period

01.2015 – 06.2016

► Verbundvorhabenleiter |

Leader of the joint research project

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Leiter Teilvorhaben | Subproject manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze,
Dipl.-Ing. Karoline Holz (Teil Experiment)

► Projektpartner | Project partners

12 Partner, darunter 4 aus der Forschung und 8 Unternehmen

DIE VERANTWORTUNG DES VERSAGENS

THE RESPONSIBILITY FOR FAILURE

Ein Versagen tragender Baukonstruktionen ist mit ausreichender Zuverlässigkeit auszuschließen. Hierbei ist entscheidend, dass die Konstruktionen den Einwirkungen, die im Laufe ihrer Lebensdauer präsent sein können, unter angemessenem Einsatz von Materialien zu trotzen haben. Im Allgemeinen können die resultierenden Anforderungen in folgenden Begriffen zusammengefasst werden: Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Der Erfolg einer Bauweise hängt maßgeblich von der Erfüllung dieser Bedingungen ab.

Für die Carbonbetonbauweise, welche als relativ junge Art des Baues angesehen werden kann, sind sie nun teilweise grundlegend neu zu definieren. Daher soll dieser Beitrag mit der Betrachtung des Grenzzustands der Tragfähigkeit (GZT), der die Grenze zwischen Funktionstüchtigkeit und -verlust markiert, einen entscheidenden Aspekt beleuchten.

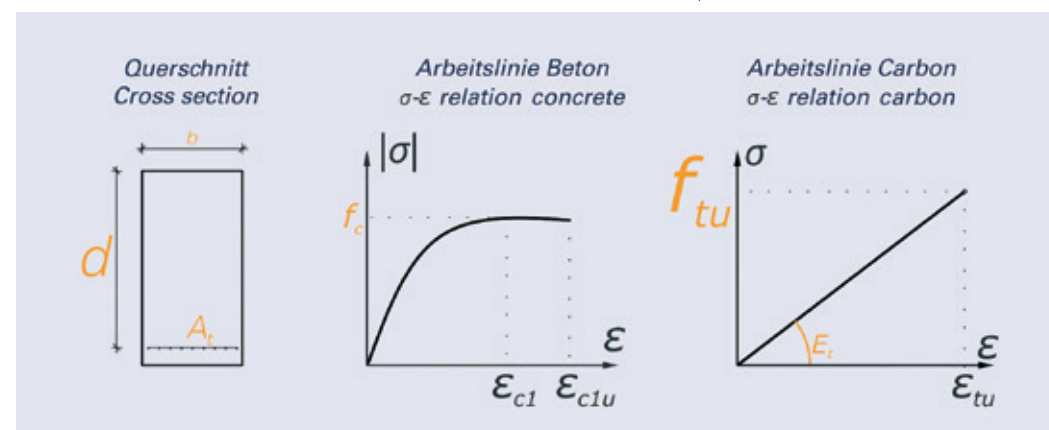
Bei der Berechnung der Zuverlässigkeit für den GZT müssen unvermeidliche Streuungen berücksichtigt werden. Um diesen teilweise schwierigen Sachverhalt abdecken zu können, werden generell Tragwerke mit entsprechend zu erwartenden Einwirkungen innerhalb sogenannter Monte-Carlo-Simulationen analysiert.

The reliable failure prevention of load-bearing structures is mandatory and can be considered a dominating subject of civil engineering. To ensure reliability, structures subjected to various forces throughout their entire, pre-defined lifespan shall be designed by making use of an appropriate utilization of resources. The requirements can be summarized as load capacity, serviceability, and durability. For the establishment of new building methods, successfully complying with the reliability requirements may prove to be difficult.

In this context, this paper investigates the calibration of a safety range, which should include the natural data spectrum related to the material property values of those structures constructed with carbon and concrete – also known as carbon reinforced concrete.

A simulation of the ultimate limit state (ULS) for a cross section is implemented in a so-called Monte-Carlo analysis. The ULS marks the border between survival and failure. Within the mentioned analysis, it is possible to sample discrete occurrences of influencing parameters and properties of the materials and geometry respectively. Those could be, for instance, the strength of carbon or the effective depth.

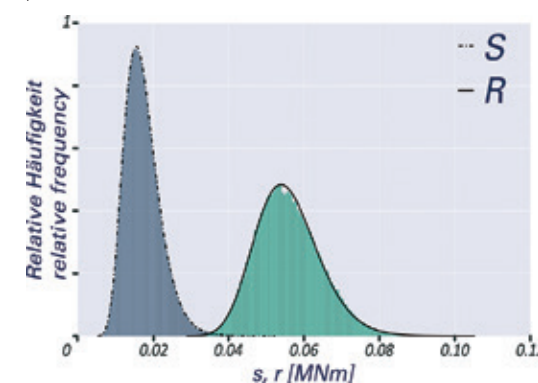
Sensitivitäten streuender (farbiger) Widerstandsparameter eines biegebeanspruchten Querschnitts | Sensitivity of scattered (coloured) resistance parameters of cross section under flexural load | Graphic: Jörg Weselek



In diesen sind, wie der Name andeutet, Eigenschaften – d. h. beispielsweise die Festigkeit von Carbon – unter bestimmten Vorgaben als zufällig angenommen. Das Verhältnis zwischen den zusammengefassten Widerständen R und Einwirkungen S kann als Häufigkeitsverteilungen bspw. für einen Carbonbetonquerschnitt dargestellt werden. Im Anschluss werden die Realisierungen, bei denen die Einwirkungen größer als die Widerstände sind, gezählt, um ableiten zu können, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Tragfähigkeit nicht gewährleistet ist. In diesen Fällen kann also von dem misslichen Fall des Versagens ausgegangen werden. Demnach wird sie als Versagenswahrscheinlichkeit bezeichnet und kann als Komplement zur Zuverlässigkeit betrachtet werden.

Aus der Perspektive der Hersteller ist nun interessant, wie sich einzelne Streumaße der Materialien auf das Tragverhalten im Bauteil auswirken. Dafür wurden sogenannte Sensitivitätsstudien durchgeführt, in denen variable Streuungen berücksichtigt wurden. Eine Möglichkeit, die Einflüsse der widerstandsseitigen Eigenschaften (als streuend angenommen) auf die Versagenswahrscheinlichkeit darzustellen, ist mittels einer äquivalenten Schriftgröße in den entsprechenden Abbildungen der geometrischen und materiellen Verhältnisse gegeben. Darin kann großen Symbolen sozusagen die Verantwortung zugeschoben werden. Folglich sind bspw. Qualitätssicherungsmaßnahmen einzuführen, um die zu fordernden Streuungen einhalten zu können.

Häufigkeitsverteilungen der Einwirkung S und des Widerstands R eines rechteckigen Carbonbetonquerschnitts | Frequency distributions of Stresses S and Resistance R of a rectangular concrete cross section reinforced with carbon | Graphic: Jörg Weselek



Similarly, within such a model, the stresses can also be introduced as randomly distributed. Finally, the corresponding resistances (R) and stresses (S) are 'counted' and recorded in a frequency diagram. Subsequently, the number of occurrences within the overlapping area could be determined and, considering the overall number of samples, the probability of failure (P_f) can be calculated for a given case. The complement of P_f can be used to describe the reliability of a structure.

Furthermore, from the manufacturer's point of view, the quantification of the influences within the model could be interesting. Keeping in mind quality control, it is relevant to know, whether scattering of the material property values – e.g. the strength of carbon – affects the probability of failure of the final structure or not. And if it is so, whether it can be expressed as a value. A specialized sensitivity analysis was found to be a very useful tool. The result can be depicted in bar charts or, even easier to read, in a sketch of the contributing material and geometric relations where the size of the symbols corresponds to the influence of the respective variable.

► **Titel | Title**
TP C3-B3-I-a: Entwicklung von Bemessungs- und Sicherheitskonzepten sowie standardisierter Prüfkonzeppte zur Materialcharakterisierung von Carbonbeton im Basisvorhaben C3-B3: Konstruktionsgrundsätze, Sicherheits- und Bemessungskonzepte sowie standardisierte Prüfmethode für Carbonbeton

TP C3-B3-I-a: Development of safety and design concepts as well as standard test concepts for the material characterisation of carbon reinforced concrete as part of the basic project C3-B3: Construction principles, safety and design concepts as well as standardised test methods for carbon reinforced concrete

► **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**
01.2015 – 06.2016

► **Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dipl.-Ing. Jörg Weselek (Teil Numerik)

► **Projektpartner | Project partners**
12 Partner, darunter 4 aus der Forschung und 8 Unternehmen

AUS VERGANGENEM LERNEN

LEARNING FROM THE PAST

Carbonbeton dürfte inzwischen für niemanden mehr ein Fremdwort sein. Seit zwei Jahrzehnten wird an seinem Vorgänger – dem Verbundwerkstoff Textilbeton – geforscht. Im Zuge dieser Forschung sind etliche Praxisanwendungen entstanden. Um allerdings eine wirtschaftliche Herstellung und definierte, hochwertige Oberflächenqualitäten von Carbonbetonbauteilen zu erzielen, müssen dessen Herstellprozesse, vor allem im Fertigteilwerk, bis zur Anwendungsreife weiterentwickelt werden. Hier knüpft das Verbundvorhaben C3-V1.1 „Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton“ im Verbundforschungsvorhaben C³ an.

Zu Projektbeginn wurden hierfür bereits ausgeführte Projekte in Textilbetonbauweise begutachtet und die Auswirkungen bestimmter Herstellungs- und Materialparameter auf deren Oberflächenqualitäten untersucht. Unter den untersuchten Projekten befanden sich vier Instandsetzungs- bzw. Verstärkungsmaßnahmen, acht Tragwerke und acht Fassadenverkleidungen, welche in ganz Deutschland realisiert worden waren.

Today, carbon concrete composite – in short: C³ – is no longer a foreign concept. Its predecessor, textile reinforced concrete (TRC), has been under investigation in Germany for the nearly two decades. During this period, a number of basic practical applications have been completed. To guarantee the economic manufacturing of structures made of carbon concrete composites, and especially to ensure high quality in the finished product, many aspects of the construction process must be considered. This is where the joint research project C3-V1.1 “Development of manufacturing and workmanship processes of carbon concrete composite” steps in. During the project, manufacturing processes will be streamlined, with the aim of producing surfaces of premium quality.

At the beginning of the project, existing structures made of textile reinforced concrete were reviewed, and the influence of the manufacturing process on their surface quality was examined. All over Germany, four maintenance and strengthening projects, eight load-bearing structures and eight facade structures were

Die Auswertung der Ergebnisse der Begutachtung ergab, dass unter anderem die Parameter Betonzusammensetzung, Nachbehandlung und Nachbearbeitung eine Auswirkung auf die Qualität der Oberflächen haben. So traten beispielsweise Schwindrisse häufiger auf, wenn das Größtkorn des verwendeten Betons kleiner als 4 mm im Durchmesser maß. Ein Abzeichnen des in den Beton eingelegten Textils trat seltener bei Betonüberdeckungen von 5 mm oder größer auf. Aber auch die Dauer der Nachbehandlung und die Art der Nachbearbeitung der Oberflächen haben einen Einfluss auf deren Qualität. So traten die besagten Schwindrisse umso seltener auf, je länger die Oberflächen nachbehandelt bzw. die Bauteile in der Schalung belassen worden waren. Eine lange Nachbehandlung oder Verweildauer in der Schalung können allerdings auch zu fleckigen Oberflächen führen. Flecken ließen sich jedoch nie an abgesäuerten Oberflächen entdecken.

Die Ergebnisse aus der Begutachtung der bereits ausgeführten Praxisprojekte dienen als Grundlage für das nun geplante Versuchsprogramm. Innerhalb des Projekts sollen z. B. im kommenden Jahr 2017 die Auswirkungen verschiedener Nachbehandlungs- und Nachbearbeitungsmethoden auf die Oberflächenqualität von Neubauteilen und verstärkten Flächen aus Carbonbeton unter einheitlichen Randbedingungen untersucht werden.

reviewed. This investigation found, that the composition of the concrete, the curing and the post-processing have an influence on the surface quality. Cracks due to shrinkage e.g. occur more often if the diameter of the largest grain of the concrete is smaller than 4 mm. As further influencing factors, these cracks occur less often the longer the curing lasts or the longer the structures are left in their formwork. Nevertheless, a long curing or resting time in the formwork will lead to discolorations on the concrete's surface. But these discolorations can be removed by acid-washing the surface. An outline of the textile reinforcement can often be seen on the concrete's surface, but if the concrete cover is higher than 5 mm this phenomenon can be prevented.

The outcomes of the review of existing structures made of textile reinforced concrete will be the basis for further test programmes within the joint research project C3-V1.1. Next year, the influence of different curing and post-processing methods on the surface qualities of newly constructed or strengthened structures will be examined under consistent conditions.

Auch die Oberfläche der Textilbetonbrücke in Oschatz wurde genau unter die Lupe genommen, im Bild zu sehen der Eingangsbereich mit Drehtür. | The surface of the TRC bridge in Oschatz was investigated too; on the right: entrance area with revolving door.
| Photo: Alexander Schumann



Schwindrisse, Poren und Lunker sollen die Carbonbetonoberflächen in Zukunft nicht mehr zieren | Cracks due to shrinkage, pores and blowholes on a TRC surface should be prevented at future carbon concrete surfaces. | Photo: Juliane Wagner



- **Titel | Title**
TP C3-V1.1-X-d: Untersuchung von Nachbehandlungsmethoden zur Sicherstellung einer dauerhaften Oberfläche und Beitrag zur Konstruktion von An- und Einbauteilen für Carbonbeton im Verbundvorhaben C3-V1.1: Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton
TP C3-V1.1-X-d: Investigation of post-treatment methods to ensure a durable surface and contribution to the construction of built-in parts for carbon reinforced concrete as part of the joint research project C3-V1.1: Development of manufacturing and workmanship processes of carbon concrete composite
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger Jülich / C³ – Carbon Concrete Composite
- **Zeitraum | Period**
12.2015 – 03.2018
- **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Juliane Wagner
- **Projektpartner | Project partners**
15 Partner, davon 7 aus der Forschung und 8 Firmen

NORMalität FÜR CARBONBETON

STANDARDS FOR CARBON CONCRETE

Für die Etablierung von Carbonbeton, seine breite Verwendung und allgemeine Akzeptanz sind technische Regeln elementar. Erst die Schaffung von etablierten Regeln ermöglicht eine einfache Erfüllung von baurechtlichen Auflagen. Sie stellen somit die eigentliche Basis einer breiten Anwendung und Akzeptanz des Werkstoffs Carbonbeton bei Bauherren, Tragwerksplanern und bauausführenden Firmen dar. Damit solche Regeln aufgestellt werden können, sind jedoch weitreichende Vorarbeiten nötig. Diese sollen im Rahmen des Vorhabens C3-V1.2 – Nachweis- und Prüfkonzeppte für Normen und Zulassungen – durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis realisiert werden.

Ziel des Vorhabens C3-V1.2 ist die Erarbeitung von Grundlagen für belastbare Regelwerke sowie von Nachweis-, Prüf- und Überwachungskonzepnten für Carbonbeton. Um dies zu realisieren, erfolgt zunächst die Erarbeitung der Grundlagen für standardisierte Nachweis- und Prüfkonzeppte. Neben Bemessungsverfahren beinhaltet dies auch die Anforderungen an die Basismaterialien Beton und Carbon, an den Verbundwerkstoff Carbonbeton sowie an Bauausführung und Prüfung. Anschließend erfolgt

In order to establish carbon reinforced concrete itself, its widespread use and general acceptance, technical rules are of fundamental importance. Only through the establishment of general rules, applicable construction codes can be developed. Such practices would create the foundation for wider use and acceptance of the construction material carbon reinforced concrete by building owners, structural engineers and contractors. To establish such rules, extensive preliminary work is necessary. To reach these stated targets, a cooperation effort between industry and science will be made in the joint research project C3-V1.2 – Verification and testing concepts for standards and approvals.

The aim of the project C3-V1.2 is to establish the basics for robust regulations as well as for verifying, monitoring and testing concepts of carbon reinforced concrete. For this purpose, development of standardized verification and testing concepts will be carried out at first. Besides design methods, this also includes requirements for concrete and carbon as separate materials, for the composite material carbon concrete, as well as for building construction and testing. Afterwards, the development

die Erarbeitung von standardisierten Verfahrens- wegen und Prüfkonzepnten. Ziel ist es dabei, einheitliche Prüfverfahren zu bestimmen, auf denen aufbauend die Kennwertermittlung erfolgen kann.

Zur Verifikation der entwickelten Prüf- und Nachweiskonzepte werden im Anschluss umfangreiche experimentelle Untersuchungen an Carbonbetonsystemen durchgeführt. Diese Untersuchungen erfolgen unter Beachtung der jeweiligen bauteilspezifischen Anforderungen, resultierend aus Temperatur und Feuchte, aus der Beanspruchung in Folge von vorwiegend ruhenden bzw. nicht vorwiegend ruhenden Lasten, aus dem Einsatzgebiet sowie aus dem Herstellverfahren. Zum Nachweis der Eignung sowie der bauseitigen Umsetzbarkeit der entwickelten Nachweis- und Prüfkonzeppte erfolgt abschließend im Vorhaben die Betrachtung von mindestens drei vollständigen Prüfabläufen bei Bauteil- und Großversuchen mit praxisrelevanten Abmessungen (z. B. Ortbetonplattenbalken und Fertigteilwandelement). Diese werden durch Praxiserprobungen (u. a. Brückenverstärkung mit Carbonbeton) ergänzt.

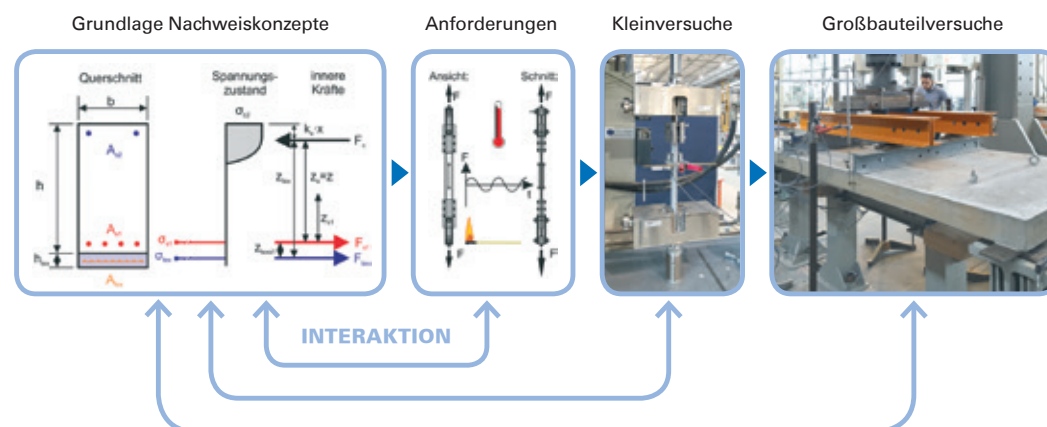
Wir erhoffen uns, mit diesem Vorhaben einen großen Beitrag für die Etablierung von Carbonbeton zu leisten, damit in Zukunft die Anwendung von Carbonbeton im Bauwesen zur Normalität wird.

of standardized processes and testing concepts will begin. The aim is to determine uniform test methods with which the material parameters can be determined.

To verify the developed testing and verification methods, extensive experimental tests on carbon concrete components will then be performed. These experimental tests shall be carried out, based on relevant component-specific requirements regarding temperature and moisture, static and non-static loads, application and manufacturing processes. Lastly, three building component tests with practical dimensions (e.g. t-beam and pre-cast wall element) will be finally investigated in the research project in order to demonstrate the suitability and the practicability of the developed verification and testing methods. These will be completed by way of practical projects (for example Strengthening of a bridge with carbon reinforced concrete).

We hope to make a huge contribution to the establishment of carbon reinforced concrete as a result of the project, so that in the future, the use of carbon concrete in civil engineering will move into the mainstream industry.

Überblick über das Vorhaben | Overview of the project | Graphic: Robert Zobel, Sven Hofmann



Abgeschnittene Carbonrippen nach Ausziehversuch am Carbonstab | Sheared carbon ribs after pull-out test on carbon rod | Photo: Robert Zobel



- **Titel | Title**
TP C3-V1.2-I-a: Erstellung und Überprüfung von Sicherheits- und Bemessungskonzepnten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes im Verbundvorhaben C3-V1.2: Nachweis- und Prüfkonzeppte für Normen und Zulassungen
TP C3-V1.2-I-a: Development and review of design and safety concepts for carbon concrete to formulation standards as part of the joint research project C3-V1.2: Verification and testing concepts for standards and approvals
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: PT Jülich / C³ – Carbon Concrete Composite
- **Zeitraum | Period**
01.2016 – 04.2018
- **Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributors**
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Jörg Weselek
- **Projektpartner | Project partners**
20 Partner, davon 6 aus der Forschung, 2 Verbände und 12 Firmen

NACHHALTIGKEIT VON CARBONBETON

SUSTAINABILITY OF CARBON REINFORCED CONCRETE

Im September 2015 hat die Weltgemeinschaft beim UN-Nachhaltigkeitsgipfel in New York die „Agenda 2030“ vereinbart. Die Ziele der Agenda umfassen dabei in den nächsten Jahren unter anderem eine nachhaltige Verwendung von Ressourcen sowie eine Reduzierung des Energiebedarfs und der Treibhausgase. Diese Ziele hat sich auch das C³-Vorhaben auf die Fahne geschrieben und bereits mit dem Basisvorhaben C3-B2 – Basiskonzepte für nachhaltige Bindemittel und Betone der Zukunft – erfolgreich umgesetzt.

Im Vorhaben C3-V1.5 beschäftigen wir uns mit der nachhaltigen Betrachtung des kompletten Lebenszyklus eines Bauwerkes oder Bauteils aus dem innovativen Verbundwerkstoff Carbonbeton. Hierbei werden die Phasen Herstellung, Nutzung, Umbau und Modernisierung sowie der Abbruch und Rückbau der Bauteile aus dem zukunftssträchtigen Werkstoff Carbonbeton herangezogen. Die Demontearbeiten beinhalten neben dem Entfernen von Bauteilen im Zuge des Umbaus von Gebäuden oder zum Ende der Nutzungsdauer auch den Einsatz von Betonbohr- und -trenntechniken in der Herstellungsphase.

In September of 2015, the international community agreed on the '2030 Agenda' at the UN Summit on Sustainable Development. The agenda's intentions include, among other things, a sustainable use of resources, as well as a reduction in energy requirements and greenhouse gases in the coming years. The C³ project is committed to such objectives, and it has implemented them successfully in the project C3-B2, developing sustainable concepts for binders and concrete in the future.

Within the project C3-V1.5, we are creating a sustainable approach to the complete life cycle of a building or a component made of the innovative material carbon reinforced concrete (in short: carbon concrete or C³). In the project, the production stage, use, renovation and modernization, as well as the demolition and recycling of carbon concrete components were taken into consideration. Such a dismantling work involves not only the removal of components either during the rehabilitation of a structure, or at the end of its service life, but also during the construction phase.

Kernbohrungen an einer carbonbewehrten Platte |
Core drillings on a carbon reinforced plate
| Photo: Sebastian May



Das Ziel einer ressourcensparenden Wertstoffkette ist, dass alle im Lebenszyklus anfallenden Stoffe im Wirtschaftskreislauf verbleiben. Ein sogenanntes Downcycling der Ausgangsstoffe Carbon und Beton muss hierbei verhindert werden, da sonst bei einer Wertstoffvernichtung die ursprüngliche Qualität und die exzellenten Eigenschaften des hochwertigen Baustoffes verloren gehen. Bei einer Wiederverwendung oder einer effizienten stofflichen Verwertung der Primärmaterialien kann von einem ressourcenschonenden Recycling und damit von einer nachhaltigen Verwendung der Materialien gesprochen werden. Am Ende des Vorhabens wird ein Lastenheft für die Herstellung von Bauwerken und Bauwerksteilen aus Carbonbeton sowie ein Lastenheft für den Verbleib der Baustoffe im Kreislauf bei Abbruch und Rückbau entwickelt sein.

In den ersten Monaten der Projektlaufzeit wurden Probekörper hergestellt, an denen zunächst Tastversuche mit unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren – Bohren, Stemmen, Sägen – mit gleichzeitiger Emissionsmessung durchgeführt wurden. Die Carbonbetonplatten ließen sich mit geringerem Aufwand bearbeiten, die Carbonbewehrung konnte man leichter vom Beton trennen als den Stabstahl. Aussagekräftige Ergebnisse zur Emissionsmessung sind in Arbeit. Aktuell werden die Großbauteile für 2017 konzipiert und geplant, an welchen unter realitätsnahen Bedingungen Abbruch- und Recyclingprozesse untersucht werden sollen.

Carbonbewehrtes Abbruchmaterial |
Carbon reinforced demolition material
| Photo: Sebastian May



The goal is to ensure that all materials used in the life cycle remain in the economic cycle. A so-called 'down cycling' of the primary carbon and concrete components needs to be prevented, otherwise the building material's initial quality and superior properties will be lost during the material recycling. Reuse or efficient material utilization of the primary material components can be equated with resource-conserving recycling, and also with a sustainable use of materials. At the project's end, specifications for the construction of buildings and structural elements made of carbon reinforced concrete as well as a specification including the remaining materials during demolition and recycling will be developed.

In the first months of the project, samples were produced. With these, tentative tests were carried out with different processing methods – drilling, lifting, sawing – and corresponding emissions were measured. The carbon concrete slabs could be recycled with less effort: it was easier to separate carbon reinforcement than steel bars from the concrete. Significant results of the emission measurements have already been obtained from the on-going test program. Currently, large components are scheduled to be tested in 2017, for which demolition and recycling processes are to be verified under realistic conditions.

► Titel | Title

TP C3-V1.5-I-d: Konzeption Großbauteile und Lastenheft „Herstellung“ im Verbundvorhaben C3-V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen

TP C3-V1.5-I-d: Conception large scale structures and specification „production“ as a part of the joint research project C3-V1.5: demolition, dismantling and recycling of C³-structures

► Förderer | Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: PT Jülich / C³ – Carbon Concrete Composite

► Zeitraum | Period

03.2016 – 06.2018

► Leiter Teilvorhaben | Subproject manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Bearbeiter | Contributor

Dipl.-Ing. Sebastian May

► Projektpartner | Project partners

8 Partner, darunter 3 Forschungseinrichtungen und 5 Unternehmen

SICHERER RÜCKHALT FÜR CARBON-SPANNGLIEDER OHNE VERBUND

COMPACT ANCHORAGE ELEMENTS FOR CARBON TENDONS

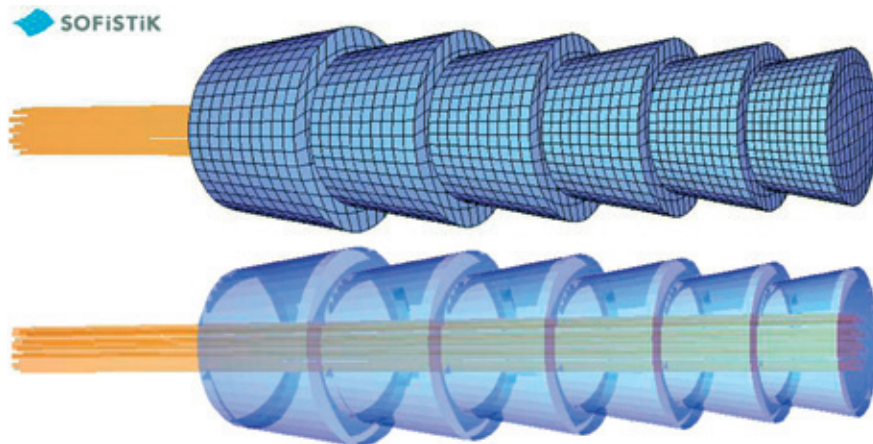
Carbonzugglieder sind bereits bei einigen Pilotprojekten weltweit in der Anwendung. Vor allem bei Brückentragwerken oder der Instandsetzung kamen sie bereits zum Einsatz. Bedingt durch die hohen Kräfte in den Spanngliedern und die Querdrukempfindlichkeit des Materials ist der Platzbedarf für die Verankerungselemente relativ groß. Hier setzt das Forschungsprojekt zur Entwicklung von kompakten Verankerungselementen für Zugglieder mit kleineren Querschnitten an. Die Festlegung auf Carbonspannglieder ohne Verbund bringt sowohl Vorteile bei der Nachhaltigkeit (Austauschbarkeit), als auch bei der Anwendung. Die kompakte Ausführung soll das Spannsystem in der späteren praktischen Anwendung als Quervorspannung von Brückenüberbauten, aber auch für die Vorspannung im Hochbau anwendbar machen. Während die Vorspannung beim Brückenbau vornehmlich der Rissbreitenbegrenzung dient, sollen im Hochbau in erster Linie die Verformungen des Tragwerks reduziert werden.

In diesem Jahr standen die Grundlagenermittlung und die sich daraus ergebenden Randbedingungen im Vordergrund. Bei der mate-

Tendons made of carbon are already in use, as can be seen in several pilot projects around the world. They have mainly been used in bridges or repairs. Due to the high forces in the clamping members and the cross-pressure sensitivity of the material, the space requirement for the anchoring elements is large. This is where the research project for the development of compact anchorages for carbon tendons with small cross sections starts. The development of non-bonded carbon composite members offers advantages regarding sustainability (interchangeability) as well as in application. The compact design is intended to make the clamping system applicable in future, practical application such as the transverse pre-tensioning of bridge superstructures, or as prestressing in building construction. While the goal of prestressing bridge constructions is to limit the crack widths, prestressing is also done in buildings to limit the deformation of the structure.

In 2016, performing the basic evaluation and determining the resulting constraints laid in the foreground. Within a material-independent evaluation of the tensioning systems which

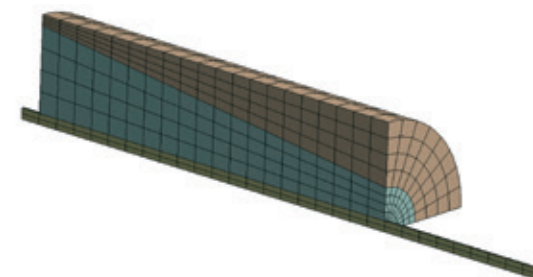
Modellierung einer am Markt erhältlichen konisch segmentierten Vergussverankerung für Carbonzugglieder | Numerical Model of a conically segmented anchorage for carbon tendons | Graphic: Oliver Steinbock, Oliver Mosig



rialunabhängigen Betrachtung von am Markt erhältlichen Spannsystemen zeigte sich, dass konventionelle Stahlspannglieder ohne Verbund und mit kleinem Querschnitt fast ausschließlich in Form von Monolitzen verwendet werden, die in Hüllrohren gestapelt werden können. Verankert werden die Monolitzen häufig mit Keilen. Verankerungen über Umlenkungen, Verbund, aufgestauchte Köpfchen oder Gewinde und Muffen sind heute unüblich. Vorteilhaft bei Stahlspanngliedern ist, dass das Material konzentrierte Lasteinleitungen bzw. Spannungsspitzen, wie sie bei diesen üblichen Systemen auftreten, verzeiht.

Bei Carbonzuggliedern zeigte sich eine noch größere Vielfalt bei den Zugelementen. Neben Carbonlamellen und -litzen sind am Markt Stäbe, Gelege und Strangschlaufen vorhanden. Die Formen der Spannglieder selbst als auch ihrer Verankerungen orientieren sich stark am Stahlspannglied. Die Lösungen sind jedoch aufgrund der anderen Materialeigenschaften des Carbons nur bedingt übertragbar. Deshalb ist ein neuer ganzheitlicher Ansatz notwendig, der sowohl die Form des Spannglieds und seiner zugehörigen Verankerung als auch die Anforderungen als Spannglied im Bauwesen berücksichtigt. Die Entwicklung kompakter Verankerungselemente ist Teil des Verbundprojekts C3-V4.2 – Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke –, bei dem die gesamte Bandbreite des vorgespannten Carbonbetons untersucht wird.

Modellierung einer am Markt erhältlichen konischen Vergussverankerung für Carbonzugglieder | Numerical Model of a conical anchorage for carbon tendons | Graphic: Oliver Mosig



were available on the market, it was found that in conventional unbonded steel tendons and with a small cross section, monostrands are almost always, which can be stacked in ducts. The monostrands are frequently anchored with wedges. Anchorages via deviation, thickened heads or threads and sleeves are uncommon. It is an advantage of steel that the material forgives concentrated load inlets or stress peaks, as occurs with these conventional systems.

In the case of prestressing elements made of carbon, a greater variety of anchorages and construction types for the tensile members was found. In addition to carbon lamellas and strands, there are bars, couplings and strand loops available on the market. However, due to their differing material properties, the solutions of steel anchorages cannot be transferred directly to carbon. Therefore, a new type of clamping member and its associated anchoring is necessary, one which can meet the requirements of the construction industry. The development of compact anchoring elements is part of the composite project C3-V4.2 – prestressed carbon concrete for road bridges, plates and shell structures – which examine the entire range of pre-stressed carbon concrete.

► Titel | Title

C3-4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spannsysteme ohne Verbund im Verbundvorhaben C3-V4.2 Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke

C3-4.2-VI: Development of compact anchorages for unbonded tendons as part of the joint research project C3-V4.2 Prestressed concrete structures with carbon fibres for street bridges and plate and shell structures

► Förderer | Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: PT Jülich / C³ – Carbon Concrete Composite

► Zeitraum | Period

05.2016 – 04.2019

► Teilprojektleiter | Subproject manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Bearbeiter | Contributor

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

► Projektpartner | Project partners

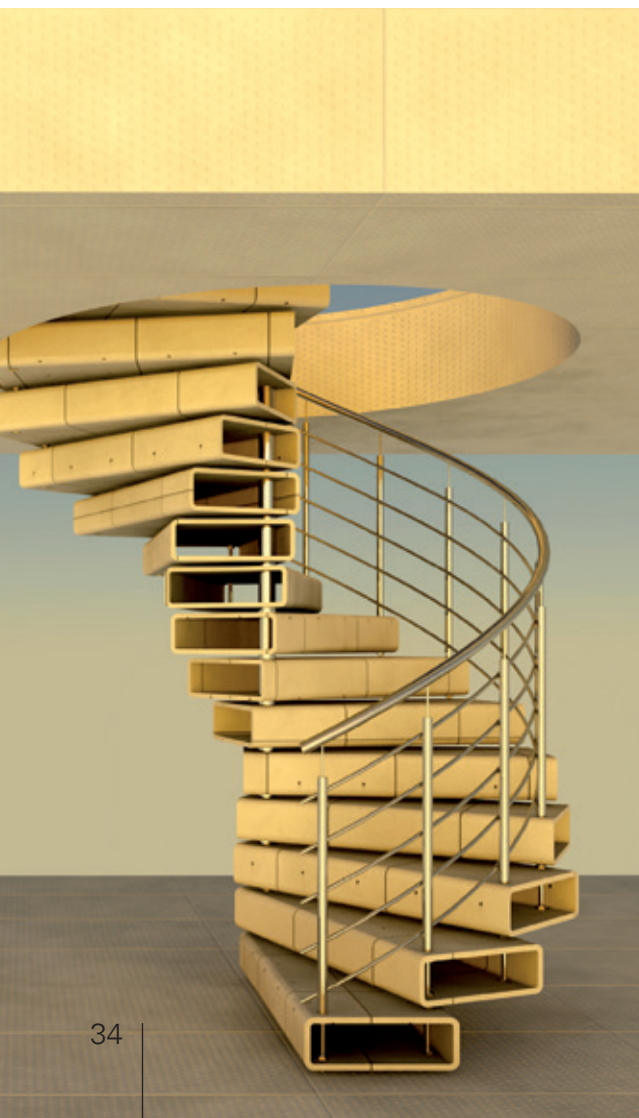
6 Partner, davon 1 aus der Forschung und 5 Firmen

AUTARTEC® – FÜR DIE ZUKUNFT DENKEN

AUTARTEC® – THINKING FOR THE FUTURE

Nachdem im ersten Jahr der grundlegende Entwurf für das autartec®-Haus erarbeitet wurde, war das zweite Drittel der Projektlaufzeit ein sogenanntes Iterationsjahr. Es wurden viele Planungen getätigt, eine Menge Details erdacht und präsentiert, um in der anschließenden Diskussion aller Projektbeteiligten vieles wieder zu verwerfen oder abzuändern. Diese zahlreichen Optimierungsschritte waren notwendig, damit das Gesamtprodukt einen Meilenstein für die

Grafische Darstellung der autartec®-Treppe |
Design of the autartec® stair | Graphic: Ludwig Pickert, Bendl HTS



After developing the basic design of the autartec® house during the first year, the autartec® design was optimized in a series of iterations during the second year. A considerable progress in planning was made, and many of details were conceived and presented, including changes proposed by all involved partners. Numerous discussions relating to such optimizations were necessary to reach a milestone in building a concept for future autarkic houses, which will be placed in open waters or seascares.

First, along with the industrial partner AIB Bautzen, we designed a wall element. In 2015, the first elements were constructed with a carbon reinforcement based on a styrene-butadiene rubber coating. For a more efficient manufacturing process, the new carbon reinforcement is based on an epoxy resin coating. An advantage of the carbon reinforcement with the new coating is the possibility of prefabrication of special reinforcing elements such as corner reinforcements. Both types of wall elements were tested successfully in lab tests, regardless of the coating system used.

In 2016, the second year of the project, our main task was to construct an entirely new staircase system. Not only did the static conditions have to be met, but space to install technology modules were considered in the design as well. Accounting for all these facts, we believe that a cellular concrete box is the right cross section for this type of stair element. The bearing of the stairs is fixed to a steel spindle on one side, and it is connected with the handrail and to the steps above and beneath it on the other side. A spacer is placed between the stair elements. Due to the lack of a general standard, lab test were made. Our goal was to apply a load of 2 kN one million times. The static system in the lab tests was a cantilever, which is worse than the static system in practical application. The load was applied at the location with the largest lever arm, and not along the walking line. The tests of stair and of wall elements were a success.

Konzeptionierung von schwimmenden autarken Häusern darstellen kann.

Unsere Hauptaufgabe war zunächst, gemeinsam mit AIB Bautzen ein Wandelement aus Carbonbeton zu entwickeln. Die ersten Prototypen wurden 2015 noch mit einer Carbonbewehrung mit Styrolbutadienbeschichtung angefertigt. Die endgültigen Wandelemente für das Demonstratorgebäude sollen aber mit einer epoxidharzgetränkten Bewehrung aus Carbon hergestellt werden. Bei dieser Art der Bewehrung gibt es beispielsweise schon vorgefertigte Eckprofile, wodurch Fertigungszeit eingespart werden kann. In Laborexperimenten wurde die Tragfähigkeit erfolgreich bestätigt.

Ein wesentlicher Schwerpunkt im zweiten Jahr des autartec®-Projektes war die Entwicklung eines Treppensystems, das neben der Erfüllung der statischen Anforderungen auch genügend Stauraum für die Technikmodule bereitstellt. Die Treppenstufen wurden als Hohlkästen konstruiert und werden auf einer Spindel gelagert. Der Abstand der einzelnen Treppenstufen wird über Abstandhalter sichergestellt. Um die Lastabtragung bei Beanspruchung einer einzelnen Treppenstufe zu optimieren, wird über einen direkten Anschluss des Geländers die jeweils darunter- und die darüberliegende Stufe mit aktiviert. Die Tragfähigkeit wurde experimentell an einer Einzelstufe durch eine zyklische Prüfung mit einer Million Lastwechseln erfolgreich nachgewiesen. Es lag demnach als statisches System ein Kragarm vor, was gegenüber dem endgültigen System ungünstiger ist. Die normativ geforderte Einzellast von 2 kN wurde zudem nicht auf der Ganglinie, sondern an der statisch ungünstigsten Stelle eingeleitet.

Im letzten Quartal 2016 wurden alle notwendigen Unterlagen für die Errichtung des autartec®-Hauses dem zuständigen Prüfstatiker vorgelegt. Dieser ist mit den statischen Berechnungen des Gesamtkomplexes einverstanden und hat für den Bau des Gebäudes grünes Licht gegeben. Das autartec®-Haus soll nach aktuellem Planungsstand 2017 im Bergheider See errichtet werden.

In the last quarter of 2016, all documents were submitted to the inspecting structural engineer. After the structural analysis checks were completed, the construction approval to start building the autartec® house was granted. At this point, the house will be built at the Bergheider See in Germany in the late summer of 2017.

Prototyp der Treppenstufen aus Carbonbeton |
Prototype of the steps made of carbon reinforced concrete
| Photo: Ulrich van Stipriaan



► **Titel | Title**
Wachstumkern Autartec – Verbundprojekt 1: Funktionsintegrierte Bauelemente aus Textilbeton
TP 1.6: Experimentelle Untersuchungen zur Prüfung und Entwicklung von Materialien im Bereich des Textilbetons sowie funktionsspezifische Bauteilprüfungen an Textilbetonelementen

„Wachstumkern Autartec“ – Joint research project 1:
Functional integrated construction units made of textile reinforced concrete
TP 1.6: Experimental investigations for the development and testing process of textile reinforced concrete materials and component testing for textile reinforced concrete construction units

► **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) /
Wachstumkern autartec®

► **Zeitraum | Period**
09.2014 – 08.2017

► **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Egbert Müller

► **Projektpartner | Project partners**
AIB GmbH, Bautzen | bendl HTS, Sebnitz | BWB, Sebnitz |
DZT, Dresden | Rupp Betonerzeugnisse,
Neustadt an der Orla

DIE ZUKUNFT DER PREUSSISCHEN KAPPE

THE FUTURE OF THE PRUSSIAN CAP



Dehnkörper mit unterschiedlich hohen Faseranteilen und Rissabständen | Tensile specimens with different ratios of fibres and crack distances | Photo: Tilo Senckpiel

Die Entwicklung von leichten, tragenden Deckenelementen aus textilbewehrtem Beton für das Bauen im Bestand ist das Ziel eines FuE-Projekts, welches von Partnern aus Wirtschaft und Forschung gemeinsam bearbeitet wird. Die Partner aus der Wirtschaft entwickeln die Technologie zur Herstellung der Deckenelemente. An unserem Institut führen wir die klein- und großteiligen Bauteilversuche durch, die Grundlage für ein Bemessungsmodell sind.

Das Vorhaben zielt darauf ab, die Deckenelemente von Hand transportier- und montierbar zu gestalten, sodass der Einsatz von Hebezeugen entfallen kann. Folglich wird ein minimales Gewicht angestrebt. Um die erforderlichen Bauteilabmessungen von 60 cm Breite und max. 20 cm Dicke trotzdem realisieren zu können, müssen die Form der Deckenelemente optimal sein und ein sehr leistungsfähiges Material gewählt werden. Die Suche nach der optimalen Form wurde in Gestalt einer Tonnenschale mit zwei seitlichen, senkrechten Aufkantungen gefunden, wobei der 1 cm schlanke Schalenschnitt der Kettenlinie folgt. Bei der Materialauswahl wurden zwei Varianten erprobt: Zum einen sind Deckenelemente in der klassischen

The development of light, load-bearing ceiling elements made of textile reinforced concrete for use in existing buildings is the goal of this R & D project, which is pursued jointly by business and research partners. The business sector partners are developing the technology to produce the ceiling elements. At our institute, we carry out the small and large-scale component tests which form the basis for a design model.

The project's aim is to make the ceiling elements portable and mountable by hand, so that the use of hoists is no longer required. This constructability feature demands the elements have minimal weight. To be able to install a component with the required dimensions (60 cm wide, 20 cm high), the shape of the ceiling elements must be optimally formed, and a very efficient material needs to be chosen. The search to fulfil these requirements led to the shape of a barrel shell with two lateral, vertical upstands. The 1 cm slender shell cross section resulted from a chain line. To optimize the material, the project partners have adopted a dual strategy: on the one hand, ceiling elements are constructed in the classic carbon

Carbonbetonbauweise und zum anderen mithilfe einer neuentwickelten Technologie ausgeführt worden. Hierbei wurde der Carbonbeton um einen Vliesstoff ergänzt, was Vereinfachungen in der Deckenelementproduktion zur Folge, aber auch Auswirkungen auf das Materialverhalten hat.

Für die Erforschung des neuen Kompositmaterials wurden im Otto-Mohr-Laboratorium kleinteilige Druck- und Zugversuche durchgeführt. Neben den herstellungstechnologischen Vorteilen der betongetränkten und carbonbewehrten Vliesstoffe kann mit deren Hilfe Einfluss auf die Tragfähigkeit (z. B. die Erstrissfestigkeit der Betonmatrix), die Dauerhaftigkeit (z. B. Rissabstände) und die Duktilität (Fläche unter der Spannungs-Dehnungs-Kurve) genommen werden.

Sowohl mit dem klassischen Carbonbeton als auch mit der alternativen Variante ist die Produktion von 4,5 m langen Deckenelementen möglich. Mit den Bauteilen, welche aus dem betongetränkten und carbonbewehrten Vliesstoff bestehen, wurden großteilige 6-Punkt-Biegeversuche durchgeführt. Anhand der Ergebnisse konnten die Nachweise des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Dauerhaftigkeit erfüllt werden.

concrete construction technique; on the other hand, the elements are made with the help of a newly developed technology. The carbon reinforcement is supplemented by a nonwoven, concrete soaked fabric, which simplifies the production of the ceiling elements but also affects the material's behaviour.

For the investigation of this new composite material, pressure and tensile tests were carried out in the Otto Mohr Laboratory. In addition to the manufacturing and technological advantages provided by the two kinds of reinforcing fabrics, using this method has an influence relative to the load-bearing capacity (e.g. first crack level), the durability (e.g. crack distances) and the ductility (area under the stress-strain curve).

The production of 4.5 m long ceiling elements is possible with classic carbon reinforced concrete as well as with the alternative variant. The elements, which consist of the concrete soaked nonwoven and carbon reinforced fabric, were examined in large-scale, six-point bending tests. On the basis of the results, it was verified that the ultimate and the serviceability limit state checks were fulfilled.

6-Punkt-Biegeversuch an einem 4,5 m langen Deckenelement | 6-point bending test on a 4.5 m ceiling element | Photo: Tilo Senckpiel



► Titel | Title

Produkt- und Verfahrensentwicklung von leichten tragenden Deckenelementen aus textilbewehrtem Beton für das Bauen im Bestand

Product and process development of light bearing ceiling elements of textile reinforced concrete for the building in existing

► Förderer | Funding

BMW; Projektträger: AiF Projekt GmbH

► Zeitraum | Period

07.2014 – 09.2016

► Leiter | Project manager

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► Bearbeiter | Contributor

Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel

► Projektpartner | Project partners

ASSMANN BERATEN + PLANEN GmbH, NL Dresden | BCS Baustoff Control Service GmbH & Co. KG, Dresden | Dipl.-Ing. H. Bendl Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG Sebnitz | Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz

PARKHAUSPLATTE AUS CARBONBETON

PARKING DECKS MADE OF CARBON CONCRETE

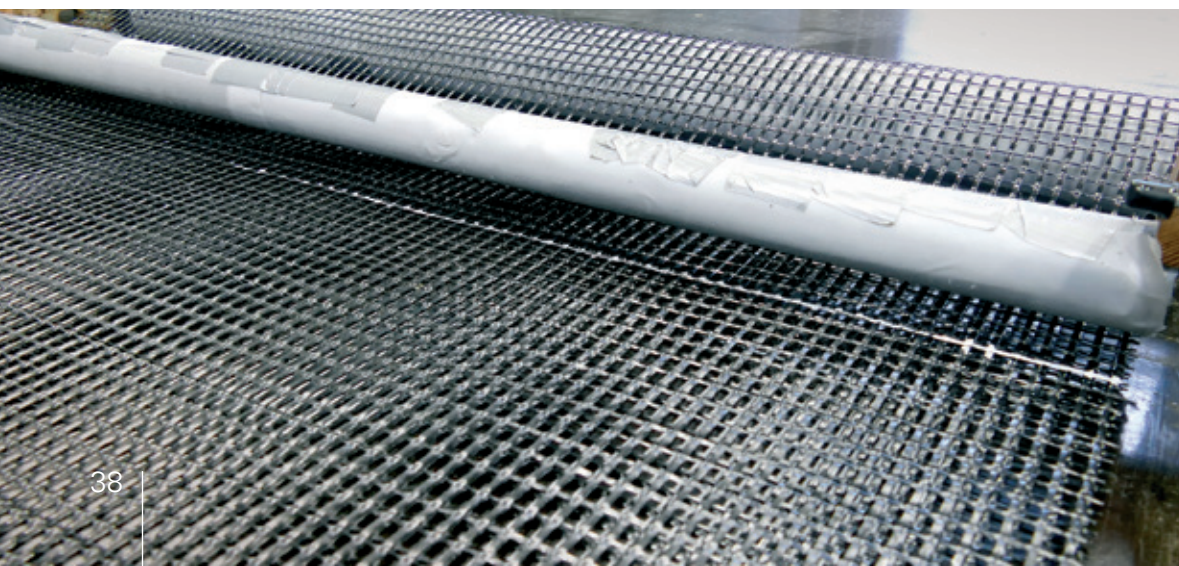
Heutzutage weisen viele Parkhausdecken aus Stahlbeton erhebliche Schäden auf. Die Stahlbewehrung in den Deckenplatten erfährt aufgrund der hohen Chloridbelastung infolge des im Winter verwendeten Tausalzes oftmals erhebliche Korrosionsschäden. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, müssen die Platten mit teuren Beschichtungen und Oberflächenschutzsystemen versehen werden. Eine Alternative zu konventionellen Systemen stellt aufgrund der nicht korrosionsgefährdeten Carbonfasern die Herstellung von Parkhausplatten mit Carbonbeton dar. Aus diesem Grund wurde in einem Testversuch die prinzipielle Eignung einer Deckenplatte aus Carbonbeton untersucht. Es wurde eine Platte mit einer Dicke von 10 cm, einer Spannweite von 2,5 m und einer Breite von 1 m hergestellt. Als Materialien kamen für den Beton der Feinbeton Pagel TF10 und für die Bewehrung das Gelege TUDALIT-BZT1-TUDATEX zur Anwendung.

Eine Herausforderung bei der konstruktiven Durchbildung des Deckenelementes stellte die Endverankerung der Bewehrung dar. Um die vollständige Tragfähigkeit der Gelege auszunutzen zu können und um ein Auszugversagen zu verhindern, wurde das Carbongelege in den

Nowadays, many steel reinforced concrete parking decks show considerable damages. Because of the de-icing salts used during winter, there is a high chloride concentration in the concrete that can promote corrosion damage of the steel reinforcement in the decks. That's why the slabs need to be protected e.g. with expensive coatings and special surface protection systems. The production of multi-story parking decks made of carbon reinforced concrete represents an alternative to conventional systems because of the non-corrosive fibers. Therefore, the fundamental suitability of a deck slab made of carbon reinforced concrete was verified in a test on a slab with a thickness of 10 cm, a span of 2.5 m and a width of 1 m.

The materials used were the fine grained concrete Pagel TF10 and the carbon grid TUDALIT-BZT1-TUDATEX. The reinforcement's end anchorage posed a challenge during the structural detailing of the ceiling element. In order to reach the entire load-carrying capacity of a textile layer, and to prevent a pull-out failure, the carbon reinforcement was formed into loops in both bearing areas and led back into the component center. So, it was possible to implement three reinforcement layers in

Herstellung der Schlaufe |
Manufacturing of the loop
| Photo: Alexander Schumann



Endbereichen des Bauteils in Form von Schlaufen ausgebildet und wieder zurück in die Bauteilmitte geführt. Somit konnte die Bewehrung in Feldmitte problemlos 3-lagig verbaut werden. Die Herstellung der Carbonbetondecke erfolgte im Gießverfahren, wobei das Carbongelege mit Abstandhaltern in ihrer Lage gesichert wurde.

Die Tragfähigkeit des Bauteils wurde im 4-Punkt-Biegeversuch ermittelt. Die maximale aufnehmbare Prüflast der Carbonbetondecke betrug im Versuch 158 kN. Bei dieser Last war die Grenzdehnung des Geleges erreicht und es trat ein Zugversagen ein. Die Bruchspannung des Carbongeleges in der untersten Lage betrug 1950 N/mm². Somit konnte die volle Festigkeit des Carbongeleges erzielt werden. Mit Berücksichtigung des Eigengewichts konnte das Bruchmoment zu 65,6 kNm bestimmt werden, womit für den gewünschten Anwendungsbe- reich die erforderliche Tragfähigkeit sicher gewährleistet ist.

Mit dem durchgeführten Bauteilversuch konnte nachgewiesen werden, dass für Parkhausplatten aufgrund der nichtkorrodierenden Fasern der Verbundwerkstoff Carbonbeton eine sinnvolle Alternative darstellt. Weiterhin konnte das Problem der Endverankerung für Neubauteile mit flexiblen Gelegen durch die im Bauteilversuch erprobte Bewehrungsführung gelöst werden.

4-Punkt-Biegeversuch am Deckenelement |
4-point bending test of the ceiling
| Photo: Alexander Schumann

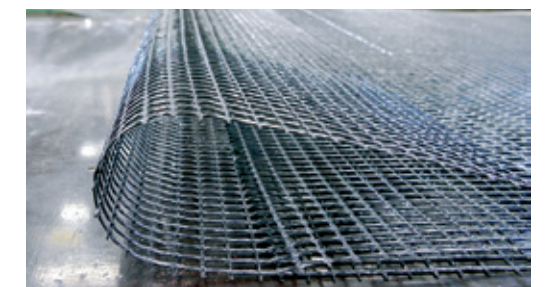


the area of maximum moment without any problems. The carbon concrete deck was cast with the help of spacers which held the carbon grid in position.

The component's load-bearing capacity was determined in a 4-point bending test. The maximum load of the ceiling was 158 kN. At this load, a tensile failure occurred in the carbon grid. The resulting stress in the lowest carbon layer was 1950 N/mm². Considering the dead weight of the structure, the failure moment was ascertained to be 65.6 kNm. Thus, the required load bearing capacity for the desired application could be guaranteed.

With this large-scale component test, it could be proven that multi-story parking decks made of carbon reinforced concrete are a quite suitable alternative due to the non-corrosive nature of carbon fibers. In addition, the challenge of providing an adequate end anchorage for the flexible carbon grids was solved by an innovative configuration of the grid's end.

Als Schlaufe geformtes Verankerungselement eines Carbongeleges |
A loop-shaped anchoring element of a carbon grid
| Photo: Alexander Schumann



- **Titel | Title**
Carbonbetondeckenelement mit alternativer Verankerung
Ceilings made of carbon reinforced concrete with alternative anchoring
- **Förderer | Funding**
Institut für Massivbau, TU Dresden
- **Zeitraum | Period**
01.2016–04.2016
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributors**
Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Alexander Schumann

LEICHTES CARBONBETONDECKENELEMENT

LIGHT CARBON CONCRETE ELEMENT



Unteransicht des leichten Deckenelementes aus Carbonbeton | Bottom view of the light ceiling element made of carbon reinforced concrete
| Photo: Sebastian May

Herkömmliche Dicken von Stahlbetondecken können über den Grenzwert der Biegeschlankheit abgeschätzt werden. Das Verhältnis von Spannweite zur Nutzhöhe darf dabei im Allgemeinen maximal 35 sein. Bei Flachdecken des üblichen Hochbaus wird in der Regel ein Grenzwert von 25 angenommen. Bei Vollplatten mit einer Spannweite von 4,5 m ergibt sich somit eine Nutzhöhe von 18 cm. Zur Bestimmung der Deckendicke muss noch die Betondeckung von rund 3 cm berücksichtigt werden. Die Decke weist somit eine Höhe von 21 cm auf und erfüllt die oben beschriebenen Grenzwerte. Wird hierbei nun ein Meterstreifen einer Platte betrachtet, dann wiegt das Deckenelement mit den genannten Querschnittsmaßen über zwei Tonnen.

Die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion wird bei einer reinen

The usual thickness of reinforced concrete ceilings can be estimated by the limit of span to depth ratio. Generally, the maximum proportion between span and effective depth is 35; a limit value of 25 is usually assumed for flat slabs for common structural engineering cases. Using solid slabs with a 4.5 m span results in an effective depth of 18 cm. To determine the ceiling's thickness, a concrete cover of about 3 cm needs to be considered. Consequently, a 21 cm thick deck complies with all the limits described above. Looking at a one meter wide strip, the deck component with the mentioned cross-section weighs more than two tons.

The load carrying and the serviceability capacity of a structure under bending depends mainly on the inner lever arm between the pressure and tension zone. As a rule, the area near the

Biegebeanspruchung hauptsächlich durch den inneren Hebelarm zwischen Druck- und Zugzone bestimmt. Der Bereich zwischen den Randzonen ist i. d. R. nicht voll ausgelastet und bietet Potential zur Materialeinsparung. Dies geschieht unter anderem schon bei Stahlbetonhohldielen. Eine solche alternative Bauweise erlaubt eine Reduzierung des Eigengewichts und des Materialbedarfs bei gleicher Leistungsfähigkeit.

In der genannten Vollplatte bildet sich unter Gleichlast im Beton ein Druckbogen zwischen den beiden Auflagern aus. Die Zugkraft wird durch die Biegezugbewehrung aufgenommen. Dieser Mechanismus wurde hier aufgegriffen. Es sollte ein Deckenelement entwickelt und untersucht werden, das durch die Kombination von Bogentragwirkung und Verwendung von Carbonbewehrung eine leichte und extrem belastbare Konstruktion im Hochbau ergibt. In vorangehenden Berechnungen wurde festgestellt, dass gegenüber der herkömmlichen Vollplatte über 50 Prozent an Gewicht und somit Material gespart werden können. Das Carbondeckenelement erlaubt daher eine materialgerechte, intelligente und nachhaltige Bauweise im Hochbau.

Anschließend wurden die Schalung und auch die ersten, 450 cm × 62,5 cm × 20 cm großen und lediglich 4 cm dicken Prototypen hergestellt. Die Elemente werden Anfang 2017 einem Tragfähigkeitstest unterzogen werden, die dann Grundlage für ein Forschungsprojekt mit Praxispartnern sein werden.

Bogenschalung mit Querkraft- und Zugbewehrung | Formwork with carbon shear and tensile reinforcement
| Photo: Sebastian May



neutral axis isn't utilized to the full and offers potential for material saving. The same method is used in hollow core slabs made of reinforced concrete. Such an alternative design permits a reduction of dead load and material consumption, while maintaining equal load carrying capability.

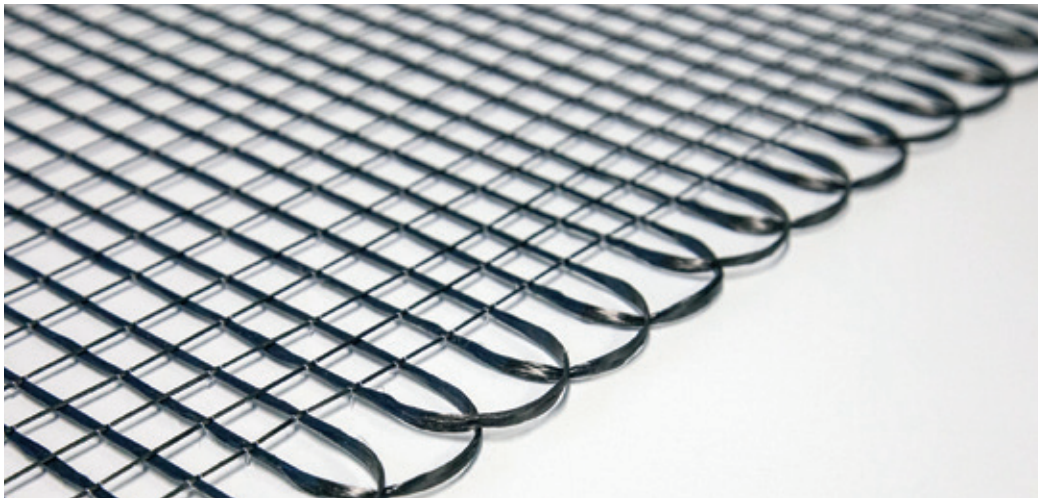
Under uniform load, a compression arc develops between the supports in the concrete. The tensile forces are carried by the flexural reinforcement. This mechanism was applied to a modified ceiling element. The aim was to develop and to study this deck element that is both a light and an extremely loadable construction by combining the structural arch effects and the usage of carbon concrete. In previous calculations, it was determined, that compared to customary solid slabs more than 50 percent of the deck's weight, and therefore material was cut down. It was determined that carbon reinforced concrete allows to produce a material-efficient, intelligent and sustainable construction in structural engineering.

Following, the formwork and the first prototypes were produced. The load carrying capacity of the 450 × cm × 62.5 cm × 20 cm large and 4 cm thick elements will be tested early in 2017. The tests will be the basis of a subsequent research project.

- **Titel | Title**
Entwicklung leichter Deckenelemente aus Carbonbeton
Development of lightweight ceiling elements made of carbon concrete composite
- **Förderer | Funding**
Institut für Massivbau, TU Dresden
- **Zeitraum | Period**
09.2015 – 02.2017
- **Leiter | Project manager**
Dr.-Ing. Harald Michler
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Sebastian May

CFHT KURZ UND KNAPP VERANKERT

SHORT AND TIGHT CFHT ANCHORAGE



Schlaufen mit dreifachem Garnabstand als Umlenkdurchmesser | Loops with a diameter of three times the yarn distance
| Photo: Sven Hofmann

Textilgelege sind moderne und etablierte Bewehrungsmaterialien, die sowohl zur Verstärkung von Bauelementen im Bestand als auch zur Anwendung in Neubauteilen geeignet sind. Die Leistungsfähigkeit von Textilbewehrungen wird durch den Einsatz von Garnen mit hoher Feinheit verbessert. Die deutlich größere Garnquerschnittsfläche von Carbon Fiber Heavy Tows (CFHT) der Feinheit 3300 tex ermöglicht eine Übertragung höherer Zugkräfte pro Bewehrungslage im Vergleich zu Carbonsgarnen geringerer Feinheit. Beim Ersetzen von mehreren Lagen eines Textilgeleges mit geringen Feinheiten durch eine Lage CFHT gleicher Tragfähigkeit lassen sich die Herstellungskosten verringern und der Aufwand bei der Verarbeitung auf der Baustelle reduzieren.

Die Verwendung von CFHT ist jedoch im Hinblick auf deren Verbundeigenschaften eingeschränkt. Die Erhöhung der Anzahl der Filamente in einem Garn führt zur Verringerung des Verhältnisses von Oberfläche zu Querschnittsfläche bei gleichzeitiger Steigerung der übertragbaren Garnzugkraft. Dies bedingt größere erforderliche

Textile grids are modern and established reinforcing materials, which can be used to strengthen existing structural elements as well as to build new ones. The performance of textile reinforcement can be improved by using yarns with a high fineness. Because of its significantly higher cross-section, carbon fibre heavy tows (CFHT) with a fineness of 3,300 tex can carry higher tensile forces per reinforcement layer than carbon fibres with a lower fineness.

By replacing several layers of textile grids with lower fineness with one CFHT layer with the same load carrying capacity, the manufacturing costs and the effort for the processing on the building site can be reduced. However, bond properties limit the application of CFHT reinforcements. The high amount of filaments in one yarn leads to a smaller surface in comparison to its cross section. Together with a co-occurred higher tensile force which has to be transmitted, significant larger anchorage and overlapping lengths are necessary. For economic reasons and geometrical constraints

Endverankerungs- und Übergreifungslängen. Aus ökonomischen Gründen und geometrischen Randbedingungen wird jedoch angestrebt, die Stöße möglichst kurz auszuführen. Daher sollen die Verankerungs- und Übergreifungsbereiche einer neuen Generation von Textilbetonbewehrungen bereits im textilen Herstellungsprozess so ausgebildet werden, dass formschlüssige Verankerungselemente durch eine modifizierte Garnanordnung am Gelegetrand direkt in diese integriert sein werden. Eine vielversprechende Lösung sind hier Verankerungsschlaufen in Schussrichtung (Querrichtung eines Textils), die eine Kraftübertragung durch mechanische Verankerung der zugbeanspruchten Garne über Formschluss ermöglichen.

Dabei ist zu beachten, dass Carbonfasern sehr querdruckempfindlich sind und deshalb die Umlenk radien der Schlaufen nicht zu gering gewählt werden dürfen. Andererseits steigt mit der Größe der Schlaufen die geometrisch erforderliche Zahl an Kreuzungspunkten von Garnen, welche wiederum Schwachpunkte in der Betonmatrix darstellen. Als optimal hat sich ein Durchmesser herausgestellt, der dem Zwei- oder Dreifachen des Garnabstands entspricht. Mit derartigen Schlaufen kann schon mit Verankerungs- und Übergreifungslängen im Bereich von 5 bis 10 cm die volle Garnkraft verankert bzw. ein Vollstoß der Bewehrungslagen realisiert werden.

it is striven for that the overlapping areas should be carried out as short as possible. In the modified textile production process, new anchorage and overlapping elements should be directly mechanically integrated into the edges of a new generation of textile carbon fabrics. By a specific alignment of the heavy tows, it is possible to form anchorage loops in the weft direction of a textile grid to get an optimized form-locked connection element.

This promising solution allows the reinforcement to transfer tensile forces along the round closure area of the loops in a very efficient way. It should be considered that carbon fibres are highly sensitive to transverse pressure. Therefore, a minimum deflection radius must be observed. On the other hand, the amount of necessary crossover points of yarns increases with the size of the loops. Then again, these crossovers lead to weak points in the concrete matrix. Therefore the ideal diameter should be two or three times of the distance between the yarns. With loops of that size, anchorage and overlapping lengths between 5 and 10 cm can be used to anchor the full yarn tensile force or rather to realise a complete lap splice of the reinforcement layers.

Betonversagen bei einer Übergreifungslänge von 5 cm | Concrete failure with an overlapping length of 5 cm
| Photo: Mateusz Ewertowski



- **Titel | Title**
Materialeffiziente und praxisgerechte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheiten
Material-efficient and practice-orientated design of anchorage and overlapping areas for carbon fibre heavy tows (CFHT) textile reinforcements
- **Förderer | Funding**
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF)
- **Zeitraum | Period**
01.2015 – 12.2017
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributors**
M.Sc. Mateusz Ewertowski, Dr.-Ing. Kerstin Speck
- **Projektpartner | Project partner**
Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM, TU Dresden)

TEXTILBETON UNTER DRUCK

TRC UNDER COMPRESSION

Die Eignung von Textilien als Zug- oder Querkraftbewehrung wurde bereits hinlänglich bewiesen. Im Zuge von Querkraft- und Torsionsversuchen und der Erstellung von Bemessungsmodellen stellte sich allerdings die Frage, ob die textile Bewehrung zu einer verminderten Druckstrebentragfähigkeit führen kann. Dies war der Ausgangspunkt für das gegenwärtige Forschungsvorhaben. Da in mehreren Anwendungsbereichen das Verhalten von Textilbeton (TRC) unter Druckbeanspruchung von Interesse ist, war eine detaillierte Untersuchung des charakteristischen Tragverhaltens von TRC unter Druck unumgänglich.

Um die Ziele des Forschungsvorhabens zu erreichen, wurden zu Beginn des Jahres der Versuchsaufbau und die Messtechnik für die entsprechenden Versuche optimiert. Besonders die Auswirkungen der Belastungsbürsten auf den Spannungszustand in den Betonproben standen im Fokus. Aber auch die gleichzeitige Dehnungsmessung in Längs- und Querrichtung stellte eine Herausforderung dar.

Parallel lief die Herstellung der Probekörper, welche die Grundlage für das umfangreiche

The suitability of textile reinforcement for carrying of tension and shear forces in concrete structures has been demonstrated in the past. During investigations of the shear and the torsion behaviour of textile reinforced concrete (TRC) members, the question arose, if there can be possible a reduction of the strength of the compression strut. This question is the focus of this research project. In various areas of application, the behaviour of TRC under compression is of great interest; therefore, a detailed investigation of the performance of TRC under compression is indispensable.

To ensure the quality of the test program, the test set-up and the measurement equipment were optimized in the beginning of 2016. Not only was the effect of the load bearing brushes on the stress state in the small concrete specimen a crucial point of this process, but the simultaneous measurement of the longitudinal and lateral strain were also a challenge.

Parallel to the development of the test set-up, the production of the specimens, to be used in about 550 individual tests, was conducted. The experiments included unreinforced and

Versuchsprogramm mit bis zu 550 Einzelversuchen darstellt. Das Versuchsprogramm umfasst sowohl unbewehrte als auch bewehrte Versuchskörper in Form von $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ großen Betonwürfeln. Mit Hilfe der unbewehrten Proben wurden zunächst die Einflüsse der Herstellung (a) mit dem bei der Verstärkung üblichen Handlaminieren und (b) durch Gießen untersucht. Außerdem dienten diese Tests als Referenzversuche für die bewehrten Würfel, in welche Textilien mit unterschiedlicher Garnstärke und Maschenweite eingebaut wurden. Die unterschiedlichsten Geometrien der Gelege in den Proben haben eine systematische Untersuchung der Einflüsse und Auswirkungen der Bewehrung zum Ziel.

Im Laufe des Jahres wurden die unbewehrten und laminierten bewehrten Probekörper getestet und die einzelnen Versuche ausgewertet. Im Rahmen der Auswertung werden verschiedenste Phänomene, hervorgerufen durch die Textilbewehrung, an Hand der aufgenommenen Spannungs-Dehnungs-Kurven untersucht und deren Einfluss auf das Verhalten von TRC unter Druck herausgestellt.

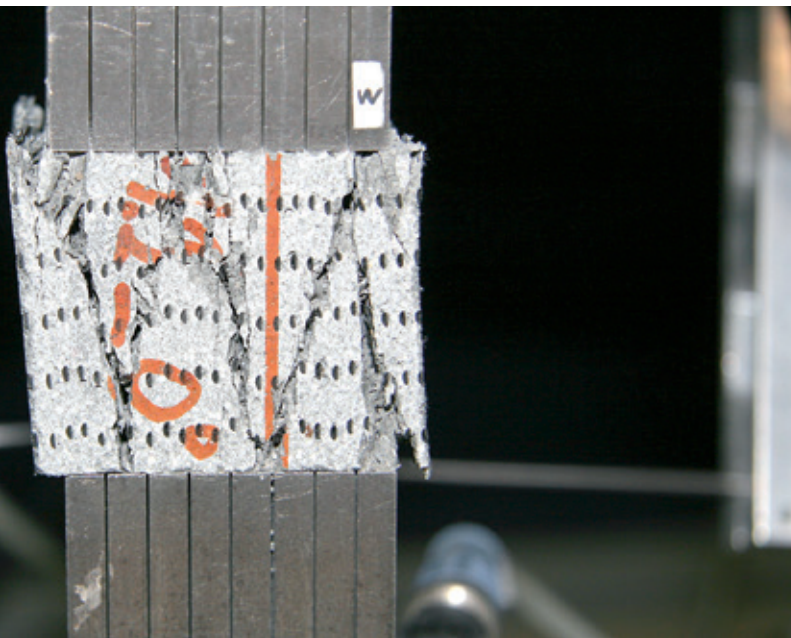
Zum Ende des Jahres 2016 läuft die dritte Versuchsphase an, welche darin besteht, gegossene bewehrte Proben im Vergleich zu den bereits getesteten laminierten Proben zu prüfen, um noch weitere Erkenntnisse zum charakteristischen Verhalten von TRC unter Druck zu gewinnen.

textile reinforced cubic specimens with an edge length of 40 mm. By testing the unreinforced specimens, it was possible to determine the effect of the concrete placement methods that are commonly used in strengthening: hand-laminating and concrete pouring. Furthermore, such first tests served as reference for the tests on reinforced concrete specimens, which included textiles with various yarn thicknesses and mesh sizes. The different geometries of the textiles served to systematically investigate the effects of the textile reinforcement.

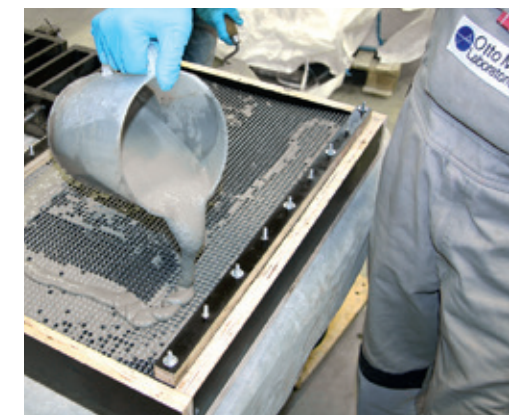
The hand-laminated, reinforced specimens were tested and evaluated in 2016 along with the unreinforced specimens.

With the help of measured stress-strain curves, various phenomena generated by the textile reinforcement could be investigated. These observations allow to formulate the behaviour of TRC under compression. By the end of 2016, the third test phase had been started with manufacturing of textile reinforced specimens by casting. These tests were conducted to gain a further understanding of the characteristic behaviour of TRC under compression.

Bruchbild eines textilbewehrten Probekörpers |
TRC specimen after failure
| Photo: Jakob Bochmann



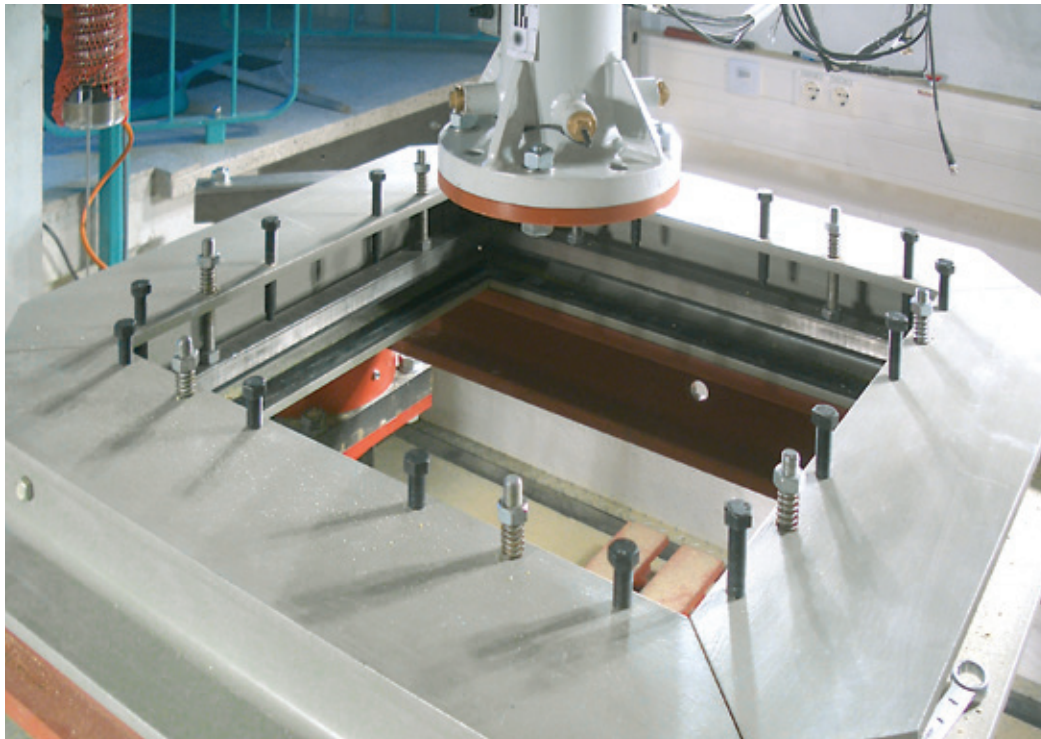
Gießen von carbonbewehrten Proben |
Casting of carbon reinforced concrete specimens
| Photo: Jakob Bochmann



- **Titel | Title**
Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung
Experimental investigations of the load bearing behaviors on textile reinforced concrete under uniaxial compression load
- **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- **Zeitraum | Period**
09.2015 – 08.2017
- **Leiter | Project managers**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH, Bautzen)
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Jakob Bochmann

TEXTILBETON AUSGELEGT FÜR DEN EXTREMFALL

TEXTILE REINFORCED CONCRETE DESIGNED FOR WORST CASES



Einspannvorrichtung für Impaktversuche an Textilbetonplatten | Impact test set-up with clamping device for TRC plates | Photo: Marcus Hering

Textilbeton findet derzeit ausschließlich für vorwiegend ruhende (also statische) Beanspruchungen eine Anwendung. In diesem Projekt soll das Anwendungsgebiet von Textilbeton um den kurzzeitdynamischen Bereich erweitert werden. Hierfür ist eine breite Palette an Untersuchungen und Experimenten notwendig. Das Hauptziel des Projektes ist es, Textilstrukturen zu entwickeln, die in eine Betonmatrix eingebettet werden können und in Verbindung mit dieser einen sehr hohen Widerstand gegenüber stoßartigen Beanspruchungen aufweisen. Dafür soll zum einen das kurzzeitdynamische Tragverhalten von reinen

Textile reinforced concrete has been used in the past for static or quasi-static load cases only. The main aspect of this project is to expand the range of applications of textile reinforced concrete by demonstrating its suitability for structures that may be exposed to short-term dynamic loads. To do these a wide range of examination is necessary. The project goal includes the development of a textile reinforcement which is designed for impact loads. These textile impact reinforcements shall be embedded in a concrete matrix. In this way, a maximum impact resistance should be achieved.

2D- als auch 3D-Gelegen untersucht werden, um die bestmöglichen Bewehrungsstrukturen für eine stoßartige Beanspruchung auszumachen. Um die gewünschten Eigenschaften dieser textilen Bewehrung im fertigen Bauteil nachzuweisen, sind zum anderen Fallturmexperimente mit Textilbetonplatten geplant, um das Zusammenwirken von textiler Bewehrung und Betonmatrix als Verbundmaterial unter verschiedenen Lasten zu untersuchen.

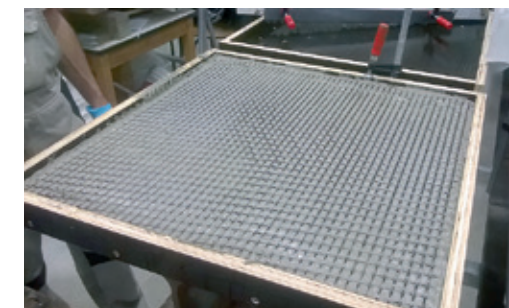
Aufgrund des abzusichernden komplexen Belastungsfalls und der neu zu entwickelnden textilen Strukturen handelt es sich hierbei um ein Projekt, bei dem eine enge Zusammenarbeit mit dem Projektpartner, dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden, essentiell ist. Nur durch das Zusammenwirken beider Institute ist das Erreichen des Projektzieles möglich.

In der ersten Phase des Projektes wird ermittelt, welche textilen Materialien als Bewehrung für stoßartige Belastungen verwendet werden können. Nachdem es gelungen ist, ein solches 'Impakttextil' zu finden bzw. zu entwickeln, sollen die erlangten Erkenntnisse auf speziell ausgelegte Bauteile übertragen werden. Auf diesem Weg soll eine Alternative zu den bisher vorherrschenden massigen Stahlbetonkonstruktionen geschaffen werden, die derzeit verwendet werden, um stoßartigen Beanspruchungen zu widerstehen. Auf weite Sicht besteht dadurch die Möglichkeit, ressourcensparende Konstruktionen mit hohem Impaktwiderstand zu errichten.

The textile development includes 2D and 3D textile structures. To investigate their behavior and relevant properties under impact loads, drop tower experiments with plates made of textile reinforced concrete are proposed. The interaction between textile reinforcement and concrete matrix are the focus of these drop tower experiments.

Because of the high complexity of the short-term dynamic load case and the development of a completely new textile reinforcement structure, cooperation with our project partner, the Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology, is necessary. The success of the project depends on the good cooperation of both institutes. The first stage of the project contains the investigation of textile reinforcement structures which are most suitable for impact testing. After that, textile reinforced concrete structures shall be designed for impact loads using the knowledge that will be gathered from this experimental program. In this way, light-weight and impact-resistant structures, able to resist impact loads, will be developed as an alternative to the heavy structures, which are currently used. The long term effect of this project involves the resource-efficient design of structures which can withstand impact loads.

Betonage der Versuchsplatten |
Manufacturing of the test specimen
| Photo: Marcus Hering



- **Titel | Title**
Textilverstärkte Betonkonstruktionen für
Impaktbeanspruchungen
*Reinforced concrete structures strengthened with
TRC for impact loading*
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi);
Projekträger: AiF
- **Zeitraum | Period**
06.2016 – 11.2018
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Marcus Hering
- **Projektpartner | Project partner**
Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungs-
werkstofftechnik (ITM), TU Dresden

PLATTENVERSUCHE MIT DURCHSCHLAGENDER WIRKUNG

IMPACT TESTING WITH PIERCING EFFECTS

Wie sich eine Stahlbetonplatte bei ruhender bzw. statischer Belastung verhält und welche Bauteilwiderstände gegenüber solchen Belastungen vorhanden sind, ist allgemein bekannt. Solchen Bauteilen begegnen wir alltäglich in der Form von raumabschließenden Elementen oder Deckenplatten. Doch wie verhält sich eine solche Deckenplatte im Falle einer stoßartigen Beanspruchung? Welche Schädigung ist zu erwarten und welche verbleibende Tragkapazität ist nach einer solchen Belastung noch vorhanden? Diese Fragestellungen werden im Projekt „Tankaufprall“ untersucht.

In dem sich bereits in der Phase 1B befindlichen Projekt wurde eine große Anzahl an Stahlbetonplatten unter Impaktbeanspruchung untersucht. Eine wichtige Grundsatzfrage, die sich hierbei stellt, ist: was genau ist eine Impaktbelastung? Im Gegensatz zu statischen Belastungen muss bspw. zwischen „weichen“ und „harten“ Impaktvorgängen unterschieden werden. Die Differenzierung findet hierbei

Generally, it is well known how a steel reinforced slab behaves, or which components the applied loads counteract. These structures are all around us in the form of room-enclosing walls or deck slabs among others. Yet, little is known regarding how such a plate resists an impact load scenario. Which impact resistance is available? Which level of damage is to be expected, and how much load bearing capacity is available after the impact loading? These questions are to be answered within the project.

While the project is currently in progress (at the stage 1B), several impact tests on steel reinforced concrete slabs have already been completed. One of the main questions we have to answer is: how should 'impact' or 'impact loading' be defined? In contrast to static loads, there needs to be a differentiation between 'soft' and 'hard' impacts. The difference between these impact processes lies in the interaction between the structure that was hit

anhand der Interaktion zwischen getroffenem Objekt (in diesem Fall der Stahlbetonplatte) und dem Impaktor statt. Ein harter Impakt liegt vor, wenn sich der verwendete Impaktor selbst sehr starr verhält und bei dem Impaktvorgang nicht signifikant deformiert wird. Im Gegensatz zu dem Impaktor erfährt die Stahlbetonplatte jedoch eine erhebliche Deformation. Im hier vorgestellten Forschungsprojekt wird die Wirkung eines harten Impakts auf Stahlbetonplatten untersucht.

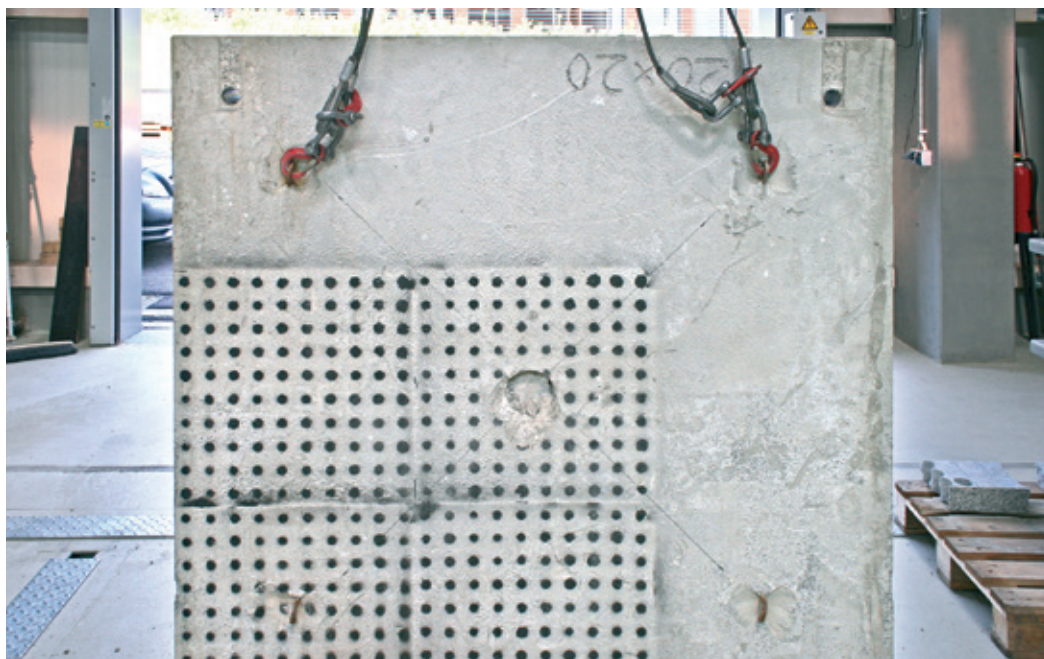
Ziel ist es, Zusammenhänge zwischen der Belastung und der entstehenden Schädigung zu untersuchen, um letztendlich den Impaktprozess und das daraus resultierende Material- und Bauteilverhalten zu verstehen. Die Schädigungsuntersuchung der Stahlbetonplatten erfolgt in diesem Forschungsprojekt durch den Projektpartner BAM in Berlin. Hierbei wird eine zerstörungsfreie Methode der Bauteilprüfung, konkret die Planartomographie, angewendet. Mit Hilfe dieses Untersuchungsverfahrens ist es möglich, in das Innere der Stahlbetonplatte zu sehen und Erkenntnisse über Rissverläufe und Rissgrößen zu erlangen. Mit diesen Erkenntnissen soll ein Rückschluss auf die innere Schädigung der Stahlbetonplatte gezogen werden.

(reinforced concrete slab) and the impactor. Within this project, the effect of a 'hard' impact is the main object of research. A hard impact is defined as an impact where the impactor is rigid. This means that there are no significant deformations of the impactor. In contrast to the impactor, the reinforced concrete slab shows large damage.

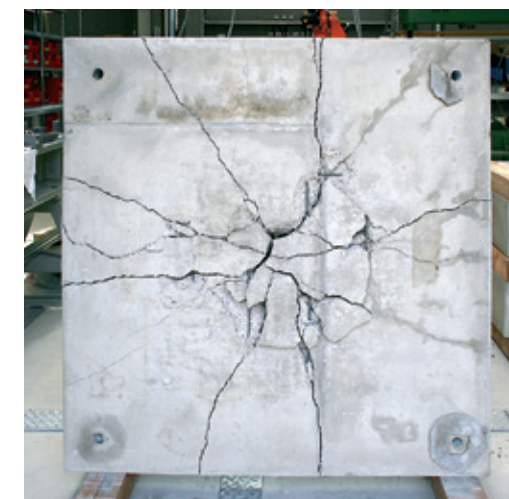
The main objective of this project is to investigate the relationship between impact load and the resulting level of damage. This investigation is necessary to finally understand the structural and the material behaviour. The investigation of the damage of the reinforced concrete elements is done by our project partner BAM in Berlin. The investigation is conducted using planar tomography. This is a so-called non-destructive testing method. By using planar tomography, it is possible to observe cracks inside the plate. In addition, the direction and the width of the cracks can be determined, providing important parameters to describe the damage of the plate.

The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501479) on the basis of a decision by the German Bundestag.

Blick auf die Frontseite einer geschädigten Stahlbetonplatte |
Top side of a reinforced concrete slab
| Photo: Thomas Häntzschel



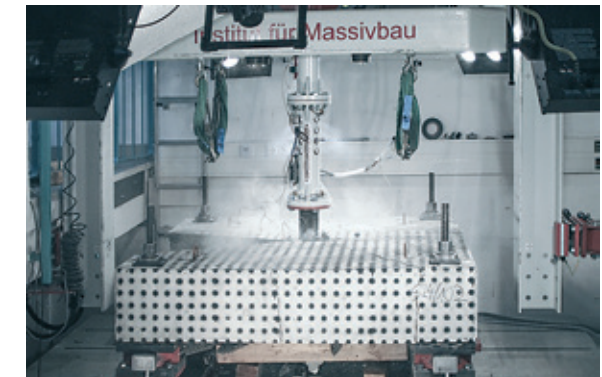
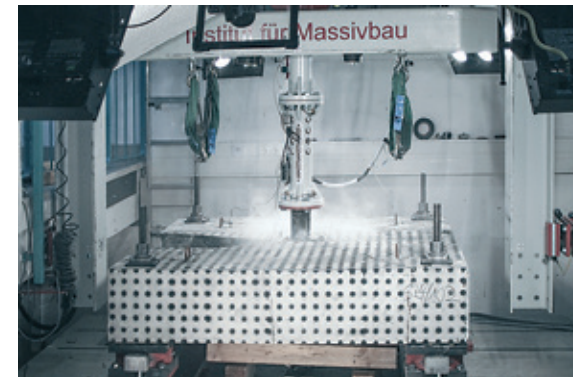
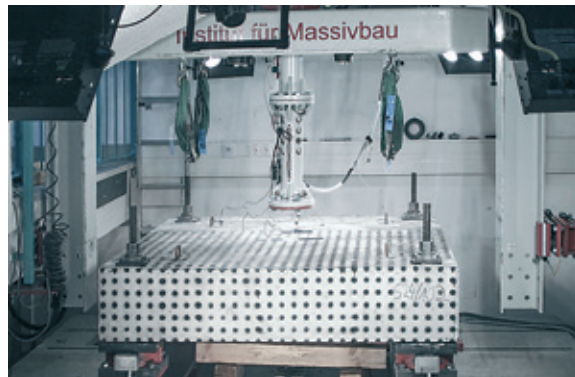
Blick auf die Rückseite einer geschädigten Stahlbetonplatte |
Bottom side of a reinforced concrete slab
| Photo: Tino Kühn



- ▶ **Titel | Title**
Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks)
Structural behaviour under impact loading by the impacting container (aircraft tanks)
- ▶ **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- ▶ **Zeitraum | Period**
07.2012 – 12.2014 (Phase 1A)
08.2014 – 07.2016 (Phase 1B)
- ▶ **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Marcus Hering
- ▶ **Projektpartner | Project partner**
BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

FALLVERSUCHE BIS 150 M/S

DROP TESTS UP TO 150 M/S



Bildsequenz des Aufpralls eines beschleunigten Projektils | Sequence of frames of a projectile impact | Photos: Tino Kühn

Neben quasi-statischen und dynamischen Lasten können für Bauwerke auch Anpralllasten entscheidend für das Tragverhalten und die Bemessung werden. Dies betrifft hauptsächlich Infrastrukturen, die von besonderer Wichtigkeit und für die Gesellschaft von entscheidender Bedeutung sind. Dementsprechend ist ein tiefgreifendes Verständnis über das Schädigungs- und Tragverhalten von Strukturen eine Grundvoraussetzung für deren Beurteilung. Die Kurzezeitdynamik erfordert dabei auch Kenntnisse über Phänomene wie dehnratenabhängiges Materialverhalten und Beanspruchungsverteilung innerhalb eines Bauteils.

In der Freifallkonfiguration der Fallanlage im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden können größere Proben mit verschiedenen Impaktoren und Massen im Bereich von 500 kg bis 2.500 kg aus bis zu 10 m Höhe experimentell beansprucht werden. Die Geschwindigkeiten ergeben sich aus den Fallhöhen und liegen im Bereich von ca. 0–14 m/s. Die Massen und Impaktorvarianten sind flexibel auf die jeweiligen Belastungsarten anpassbar und können verschiedenste Szenarien im Experiment abbilden. Eine vorgespannte Vierpunktlagerung inkl. Dämpfer zur Absorption überschüssiger Energie mit entsprechender Lagerkraftmessung dient als Auflager. Mit dieser Konfiguration wurden in

Besides quasi-static and dynamic loads, impact loads can play a decisive role in the structural design of buildings. This mainly concerns infrastructure of 'particular importance' or of 'vital importance' to society. Accordingly, a comprehensive understanding of the damage and the load bearing behaviour of structures under impact loads is a pre-requisite for their assessment. Implementation of a short-term dynamic analysis also requires knowledge related to the impact phenomena, such as strain-dependent material behaviour and stress distribution within a structure.

In the free-fall configuration of the drop test facility in the Otto-Mohr-Laboratory of the TU Dresden, large samples with different impactors and drop masses in the range of 500 to 2,500 kg falling from a height of up to 10 m can be experimentally tested. The velocities resulting from the drop heights are in the range from 0–14 m/s. The impactors are flexibly adaptable to the respective load types and can represent various scenarios in the experiment. The supporting foundation is a pre-tensioned four-point bearing bed, which includes a damper for absorbing excessive energy, and it is equipped to measure corresponding bearing forces. With this configuration, about 20 different slab tests were carried out within a project in order

dem zugrundeliegenden Projekt ca. 20 verschiedene Plattenversuche durchgeführt, um die Geschwindigkeitsabhängigkeit der entstehenden Schädigungen zu untersuchen. Zusätzlich laufen seit 2016 Versuche mit höheren Geschwindigkeiten. Hierfür wurde eine

to investigate the speed dependence of the resulting damage. In addition, experiments have been running at higher speeds since 2016. For this purpose, a compressed-air acceleration device was integrated into the system. With a maximum storage energy of approx. 120 kJ,

Druckluftbeschleunigungseinrichtung in die Anlage integriert. Sie ermöglicht mit einer maximalen Speicherenergie von ca. 120 kJ die Beschleunigung von Projektilen mit einer Masse von ca. 5–100 kg auf Geschwindigkeiten im Bereich von ca. 10 m/s bis ca. 150 m/s. Die Beschleunigung erfolgt hierbei geführt über einen Weg von ca. 10 m und kann bis direkt auf die Oberfläche der Probe geführt werden. Letzteres geschieht aus Sicherheitsgründen, was sinnvoll für Versuche ohne Durchschlag durch den Probekörper ist. Ist ein Durchschlag erwünscht, werden die Projektile unterhalb der Probe sicher abgefangen und gedämpft.

it allows projectiles with a mass of approx. 5–100 kg to accelerate to speeds in the range of approx. 10–150 m/s. impactor can optionally be guided directly onto the surface of the sample. The guidance of the projectiles right up to the sample is done for safety reasons, and it is useful for conducting experiments in which the test specimen is not punched through. If a breakthrough is desired, the projectiles are safely intercepted and attenuated below the sample.

Detailansicht der Schädigung an der Auftreffstelle | Detail of damage state around the impact area | Photo: Tino Kühn



- **Titel | Title**
Experimentelle Untersuchung des Verhaltens von Stahlbetonplatten unter Impaktbelastung
Experimental study of reinforced concrete slabs under impact loading
- **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- **Zeitraum | Period**
07.2013 – 06.2016
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Tino Kühn M.Sc.
- **Projektpartner | Project partners**
Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, TU Dresden
Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik Ernst-Mach-Institut (EMI), Freiburg

KAPUTT IST NICHT GLEICH KAPUTT

FRACTURED IS NOT EQUAL TO ALMOST FRACTURED

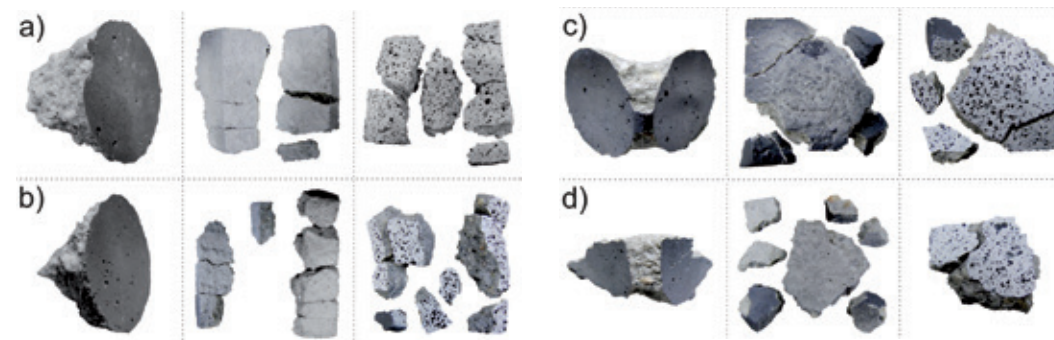
Ob Steinschlaggalerie in den Alpen oder Wellenbrecher in der Nordsee – in vielen Fällen bilden Strukturen aus Beton eine schützende Barriere zwischen Mensch und äußerer Einwirkung. Damit diese Bauwerke ihre schützende Wirkung ausreichend gut erfüllen können, muss das Verhalten von Beton in verschiedensten Belastungssituationen bekannt sein. Ein mögliches, aber noch wenig erforschtes Belastungsszenario ist die mehraxiale dynamische Druckbelastung, wie sie beispielsweise bei einem Stein- oder Fahrzeuganprall auftreten kann. Mit einem weltweit einzigartigen zweiaxialen Split-Hopkinson-Bar wurden Betonwürfel unter ein- und zweiaxialer dynamischer Druckbeanspruchung in einer Vielzahl von Experimenten untersucht. Vergleichend dazu wurden auch entsprechende ein- und zweiaxiale statische Druckversuche durchgeführt.

Es zeigt sich, dass die Höhe des Querdrucks bzw. des Verhältnisses von Quer- zu Längsdruck einen entscheidenden Einfluss auf die Bruchform hat – im einaxialen Fall entstehen Hauptrisse parallel zur Belastungsrichtung, im zweiaxialen ist ein rautenförmiger Rissverlauf zwischen den Belastungsflächen zu sehen. Die Belastungsgeschwindigkeit wiederum beeinflusst das Maß der Fragmentierung, das heißt je schneller

Whether it is a rock fall shelter in the Alps or a wave breaker in the North Sea – in many cases, concrete structures form a protective barrier between people and exterior conditions. To ensure that these structures can adequately fulfill their protective role, the behaviour of concrete under various loading conditions needs to be well-documented. A possible, but not well-researched, case is the multiaxial dynamic compressive load, which can occur, for example, in the event of a rock or of a vehicle impact. With a biaxial split-Hopkinson bar, the only one of its kind worldwide, concrete cubes can be examined under uni- and biaxial dynamic pressure loads in a variety of experiments. For comparison, corresponding uni- and biaxial static pressure tests are also carried out.

It is found that the height of the transverse pressure or the ratio of the transverse to the longitudinal pressure has a decisive influence on the fracture type – in the uniaxial case, the main cracks occur parallel to the loading direction; in the biaxial case, a rhombic crack pattern can be seen between the loaded surfaces. The rate of loading, in turn, influences the degree of fragmentation. The faster the specimen is loaded, the more and the smaller the fragments are.

Bruchformen von Würfelproben nach ein- (a, b) bzw. zweiaxialen (c, d) Druckversuch mit geringerer (a, c) bzw. höherer (b, d) Stoßgeschwindigkeit | *Fractures of cubic specimens after uni- (a, b) resp. biaxial (c, d) compressive tests with lower (a, c) resp. higher (b, d) impact velocity* | Photos: Matthias Quast



die Probe belastet wird, desto mehr und desto kleinere Bruchstücke entstehen.

Das Entstehen des Rissbildes kann mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitskameras mit 100.000 Bildern pro Sekunde aufgezeichnet und somit sichtbar gemacht werden. Für eine genauere Analyse wird die gefilmte Probenoberfläche weiß grundiert und mit einem Muster aus schwarzen Punkten versehen. Die Verschiebung dieser Punkte zueinander kann von Bild zu Bild mit dem Prinzip der digitalen Bildkorrelation ausgewertet werden.

Hinsichtlich der Betondruckfestigkeit kann gezeigt werden, dass sowohl der zweiaxiale Spannungszustand als auch die erhöhte Belastungsgeschwindigkeit zu einem Festigkeitszuwachs im Vergleich zum einaxialen statischen Test beitragen und miteinander interagieren. Bei den an unserem Institut durchgeführten Versuchen liegt der maßgebende Einfluss in der Geschwindigkeitssteigerung.

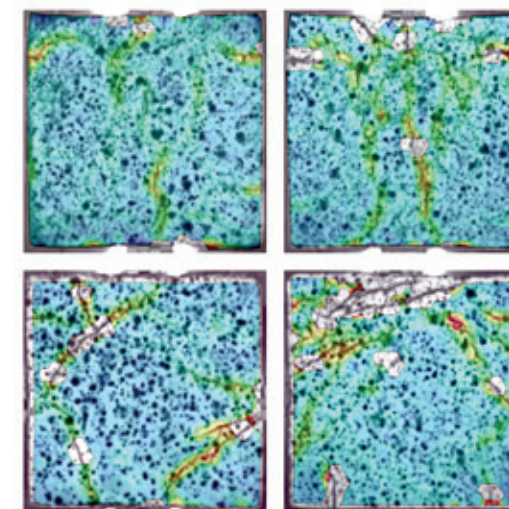
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501483 gefördert.

The formation of the crack pattern can be recorded with the help of high-speed cameras with a rate of 100.000 frames per second, and thus the crack development can be made visible to the human eye. For a more detailed analysis of the recorded frames, the surface of the samples was painted white and patterned with black dots. The displacement of these points relative to each other can be evaluated from image to image by the method of digital image correlation. So the concentration of strains can be seen before the macroscopic crack opens.

Concerning the compressive strength, it can be shown that both the biaxial stress state as well as the increased loading rate contribute to a strength increase compared to an uniaxial static loading; both influences interact with each other. In the case of the tests carried out at our institute, the main influence on the compressive strength was the increase of the loading rate.

The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project No. 1501483) on the basis of a decision of the German Parliament.

Photogrammetrische Auswertung der ein- (oben) und zweiaxialen | (unten) Druckversuche mit geringerer (links) und höherer (rechts) Stoßgeschwindigkeit | *Photogrammetric analysis of uni- (top) and biaxial (bottom) compressive tests with lower (left) and higher (right) impact velocity* | Photos: Matthias Quast



- **Titel | Title**
Zweiaxiale Betondruckfestigkeit unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten
Biaxial compressive strength of concrete under high loading rates
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- **Zeitraum | Period**
10.2014 – 09.2017
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Matthias Quast

TEAMWORK VOM FEINSTEN – BETON UND STAHL

TEAMWORK AT ITS BEST – CONCRETE AND STEEL

Stellen Sie sich ein zweiköpfiges Team vor: Ein Teammitglied ist sehr stark, wenn es um Zug geht, aber es ist eher teuer. Das andere kann Zug nur schwer aushalten, aber Druck nahezu perfekt und ist in Hülle und Fülle vorhanden. Ja, wir sprechen über Stahl und Beton. Zusammen bilden sie ein perfektes Team: Stahlbeton! Aufgrund der Ausnutzung ihrer jeweiligen Stärken ist der resultierende Verbundwerkstoff bekanntlich sehr effektiv und kostengünstig. Was jedoch noch nicht gut beschrieben ist, ist das Verhalten von Stahlbeton unter hohen Belastungsraten, wie sie bei Stoßereignissen auftreten.

Im Bauwesen wird ein Bauteil für gewöhnlich als starrer Körper angesehen und grundlegende Zustandsgleichungen können vor und nach dem Stoßereignis gelöst werden. Im Projekt beschreiben wir, was genau während des Stoßereignisses geschieht und wie die Kraftübertragung zwischen den beiden Komponenten des Stahlbetons funktioniert. Dafür werden konventionelle Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen ermittelt. Eine Herausforderung bei der Stoßbelastung ist die Abtastrate. Sie muss

Imagine a two-member team: One member is very strong when it comes to tension but it's rather expensive. The other one is very weak in tension but strong in compression and available in abundance. Yes, we are talking about steel and concrete. Together they form a perfect team: reinforced concrete! Due to the utilization of their respective strengths, the composite material is well known to be a very resource- and cost-efficient material. However, what is not well documented is the behaviour of reinforced concrete under high-stress levels such as those occurring during impact events.

In civil engineering, a structural member is ordinarily considered as a rigid body, and the fundamental equations of state can be solved before and after an impact event. In the current project, we are trying to describe what exactly happens during the impact event and how the force is transferred between the two components of reinforced concrete. Conventionally, bond stress-slip relationships are measured to describe such behaviour. The first challenge when it comes to impact loading is the sampling rate. It needs to be high enough to capture all

experimentell als auch numerisch hoch genug sein, um alle wichtigen Details zu erfassen.

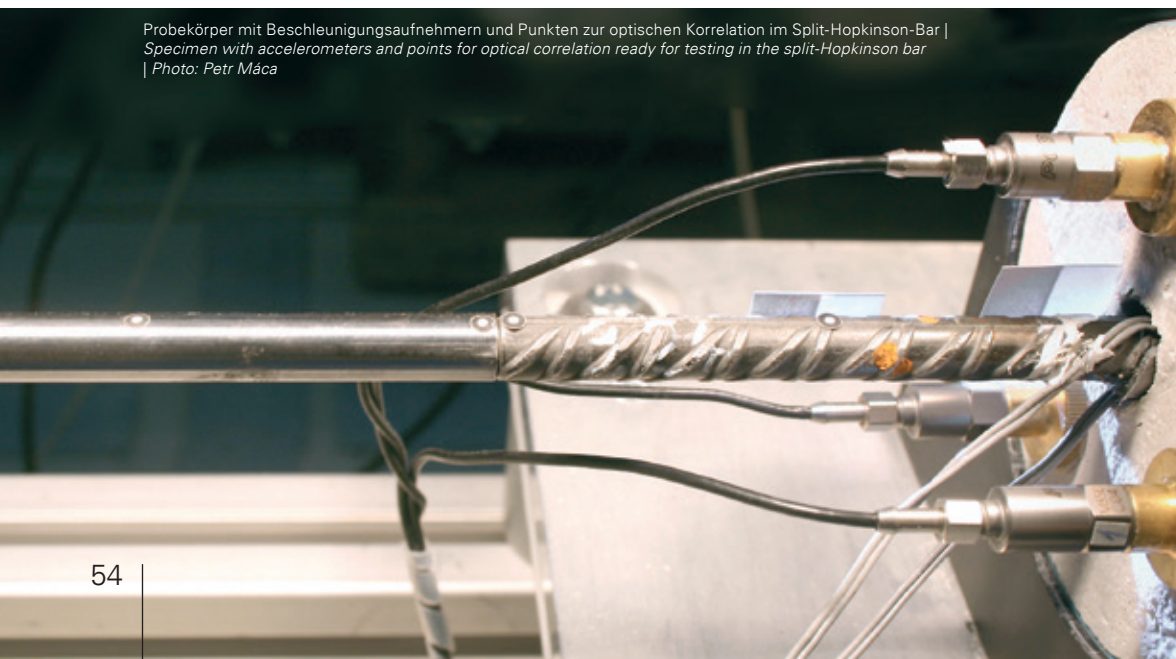
Der Schlupf des Stahles wird mit einem optischen Extensometer und einer Hochgeschwindigkeitskamera gemessen. Zur Bestimmung der Verbundspannung vergleichen wir die Spannungsverläufe vor und nach der Verbundzone. Zusätzlich verwenden wir unter der Probe befindliche Kraftmessdosen und Beschleunigungsmesser, die an der Oberseite der Betonprobe befestigt werden. Die Tests selbst finden in konventionellen servo-hydraulischen Maschinen (geringe Belastungsgeschwindigkeiten), einem instrumentierten Fallturm (mittlere Belastungsraten) und einem Split-Hopkinson-Bar (hohe Belastungsraten) statt.

Jeder experimentelle Aufbau wurde zudem als Muster für die Simulation verwendet. Bei der Analyse der Daten ist besonderes Augenmerk auf die Wellenausbreitung in der Probe und die verschiedenen Reflexionen zu legen, da ein falscher Versuchsaufbau zu irreführenden Ergebnissen führen kann. Darüber hinaus muss das dynamische Kräftegleichgewicht in jedem Zeitschritt überprüft werden. Es wurde gezeigt, dass insbesondere die Trägheit der Probe bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

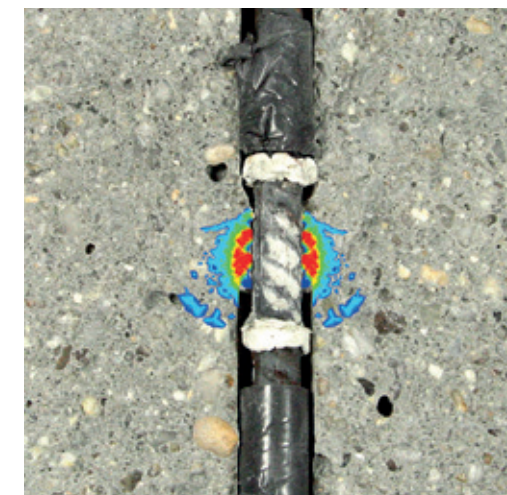
the significant details. This applies to both the experimental and the numerical part of the project. Therefore, a sampling rate of 1 MHz was used during the tests. To measure the slip of the bar, we used an optical extensometer and a high-speed camera. To determine the correct bond stress, we compared the stress history before and after the bond zone. In addition, we used load cells located under the specimen and accelerometers attached to the upper surface of the concrete specimen. Throughout the project, conventional servo-hydraulic machines were used for testing low-velocity loading, an instrumented drop tower for intermediate loading rates and finally a split-Hopkinson bar for high loading rates. Each experimental set-up was also used as a pattern for simulation.

When it comes to the analysis of the data, special attention has to be paid to the wave propagation throughout the specimen and its various reflections since the improper design of the experiments may lead to misleading results. In addition, the dynamic force equilibrium needs to be checked at each time step. It is shown, that the inertia of the sample needs to be carefully considered when interpreting the results.

Probekörper mit Beschleunigungsaufnehmern und Punkten zur optischen Korrelation im Split-Hopkinson-Bar | Specimen with accelerometers and points for optical correlation ready for testing in the split-Hopkinson bar | Photo: Petr Máca



Numerische Simulation der Mikrorissentwicklung | Numerical simulation of microcrack development | Photo: Petr Máca, simulation: Evmorfia Panteki



- **Titel | Title**
Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten
Bond between concrete and steel under high loading rates
- **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- **Zeitraum | Period**
10.2014 – 09.2017
- **Leiter | Project managers**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
- **Bearbeiter | Contributors**
M.Eng. Petr Máca, Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki

DEM-SIMULATION VON AUSZIEHVERSUCHEN

SIMULATION OF PULL-OUT TESTS USING DISCRETE ELEMENT METHOD

Stahlbeton – der Begriff verrät es bereits – ist nur dann richtig tragfähig, wenn Beton und Stahl zusammenwirken und wenn ein Verbund beider Komponenten gewährleistet ist. Um den Verbund beziehungsweise die Verankerung des Bewehrungsstahls im Beton zu untersuchen, werden sogenannte Ausziehversuche in Laborexperimenten durchgeführt.

Für Parameterstudien ist es zweckmäßig, solche Ausziehversuche auch in der numerischen Simulation abzubilden. In dem Forschungsprojekt zur Diskrete-Elemente-Simulation wird u. a. die Verbundwirkung von Stahl und Beton bei numerischen Ausziehversuchen an würfelförmigen und zylindrischen virtuellen Probekörpern untersucht. Dabei geht es weniger darum, die geometrischen Verhältnisse realer Bewehrungsstäbe nachzubilden, sondern darum, in Testversuchen das Potential der Methode bei der Simulation von Ausziehversuchen zu erkunden. Die Simulationsrechnungen werden für Auszieh-/Pull-out-Versuche unter quasistati-

Reinforced concrete is able to take a load only if concrete and reinforcement steel work together properly and if the bonding of both components is ensured.

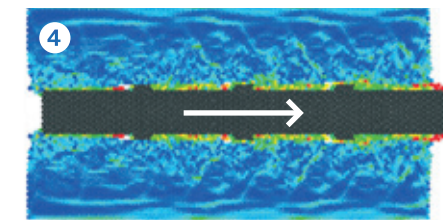
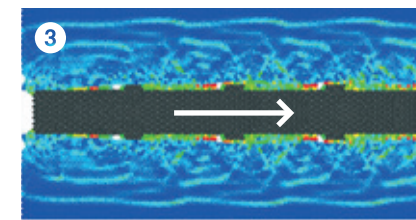
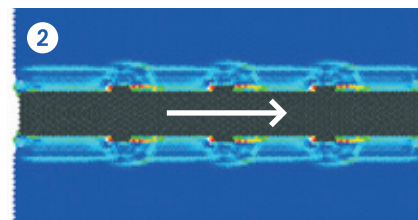
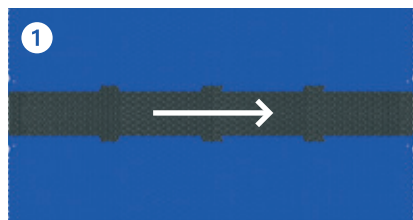
In order to investigate the anchoring or bonding of the steel reinforcement bar, so-called pull-out tests are done in laboratory experiments. With regard to parameter studies, it is convenient to model such pull-out tests using numerical simulations. In this research project based on discrete element method, the bonding between reinforcement steel and concrete is numerically investigated in virtual pull-out tests using cubic and cylindrical virtual test specimens. The aim is not primarily to model the geometric conditions of real steel reinforcement bars. But the aim is rather to investigate the potential of the discrete element method for pull-out test. The simulations are done for pull-out tests under quasi-static and under high-dynamic loading conditions. For this purpose, the 3D simulation code using particles of equal

schen und dynamischen Bedingungen durchgeführt. Hierfür wird der 3D-Simulationscode mit gleich großen kugelförmigen und daher hexagonal dicht gepackten Teilchen verwendet.

In der Simulation wird der Probekörper durch ein Ensemble von Partikeln repräsentiert. Die Kräfte werden dabei durch benachbarte, sich kontaktierende Partikel wechselseitig übertragen. Für die Partikel des Betonkörpers und des Bewehrungsstahls werden jeweils unterschiedliche Materialparameter verwendet. Der Verbund von Beton und Bewehrungsstab wird durch eine Mischungsregel (hier: die Lorentz-Berthelot-Mischungsregel) für die Verbundzone und vor allem durch die geometrische Verzahnung der Rippen des Bewehrungsstabes im Betonmaterial modelliert. Mit Hilfe der Simulation kann die Wellenausbreitung im virtuellen Probekörper sichtbar gemacht werden. Deutlich zu sehen sind die typischen, von den Rippen des Bewehrungsstabes ausgehenden, nach vorn gerichteten Stoßwellenkegel, die sich im umgebenden Betonmaterial ausbreiten. Bei der Simulation von Ausziehversuchen wird ein großes Potential der Diskrete-Elemente-Methode insbesondere darin gesehen, dass die in der geometrischen Verzahnung stattfindende Kraftübertragung modelliert werden kann und dass die Simulation die auch im Laborexperiment beobachteten Risse und Hohlräume auf der Rückseite der Bewehrungsrippen abbildet.

size and spherical shape is used which leads to a hexagonally dense packing of the particle ensemble. The test specimen is represented by an ensemble of particles. The forces are transmitted interactively via contacting, neighbouring particles. Different material parameters are used for the particles of the concrete body and of the reinforcement steel. The bonding of the concrete and the reinforcement bar is modeled using a combining rule for the bonding zone (the Lorentz-Berthelot rule in our case) and above all using the geometrical toothing of the rebar ribs in the concrete material.

The simulation is able to show the wave propagation in the virtual test specimen. The typical forward-facing impact cones spread within the neighbouring concrete material. The force interaction can be modeled in the zones of geometrical toothing and the simulation is able to show also the cracks and holes at the back-side of the rebar ribs which are also observed in real laboratory experiments – these two facts show the great potential of the discrete element method regarding numerical simulations of pull-out tests.



1 2

Modellierung eines virtuellen dynamischen Ausziehversuchs mit ca. 9.000 Teilchen vor dem Ausziehversuch (Ruhelage) und zu Beginn des Ausziehversuchs, d. h. kurz nachdem der Bewehrungsstab schlagartig beschleunigt wurde. Blau = ruhende Partikel, rot = Partikel mit hoher Geschwindigkeit. | *Virtual pull out-test with ca. 9,000 particles before (initial position) and at the beginning of the test, i.e. shortly after the sudden acceleration has been applied to the reinforcement bar. Blue = particles without velocity, red = particles with high velocity*

3 4

Modellierung eines virtuellen dynamischen Ausziehversuchs mit ca. 9.000 Teilchen während und nach dem Ausziehversuch. Blau = ruhende Partikel, rot = Partikel mit hoher Geschwindigkeit. | *Virtual pull out-test with ca. 9,000 particles during and at the end of the test. Blue = particles without velocity, red = particles with high velocity* | Graphics: Dirk Reischl

► Titel | Title

DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

Discrete element simulations of multiaxial material behaviour and failure mechanisms of concrete

► Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► Zeitraum | Period

03.2012 – 02.2014 (Phase 1)
08.2014 – 07.2016 (Phase 2)

► Leiter | Project manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Bearbeiter | Contributor

Dipl.-Math. Dirk Reischl

DEM-SIMULATION VON BETONKOMPONENTEN

SIMULATION OF CONCRETE COMPONENTS USING DISCRETE ELEMENT METHOD

Bei einer Simulation mit der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) wird der Betonprobekörper durch ein Ensemble von einzelnen Partikeln repräsentiert. Bei einem diskreten Modellierungsansatz sind die Bewegungsgleichungen der einzelnen Partikel kinematisch unabhängig und Diskontinuitäten eine inhärente Eigenschaft der Simulationsmethode. Gerade durch die letztgenannte Eigenschaft eignen sich diskrete Formulierungen sehr gut zur Simulation von Rissen und zur Untersuchung von Bruchvorgängen.

Für die Berechnung der Übertragungskräfte zwischen einander kontaktierenden Partikeln ist es erforderlich, dass die Partikel von konvexer Gestalt sind. Um sowohl konvexe als auch konkave Probekörpergeometrien betrachten zu können, werden bei der Generierung des Partikelensembles solche Partikel, die an einer konkaven Ecke liegen, in Subpartikel unterteilt, um somit auch bei konkaven Probekörpergeometrien die Konvexität der Partikel selbst erhalten zu können. Im Projekt werden polygonal berandete Partikel verwendet. Daher ist diese prinzipiell dreidimen-

Within a numerical simulation using the discrete element method (DEM), the concrete specimen is represented by an ensemble of single particles. Using a discrete approach for the numerical model, the equations of motion of the single particles are kinematically independent, and discontinuities are an inherent property of the simulation method. Especially due to the last-mentioned property, discrete approaches are favorable for the simulation of cracks and the investigation of failure processes. With regard to the calculation of the interaction forces of contacting particles, a convex shape of the particles is necessary.

In order to consider both convex and concave specimen geometries, particles on a concave corner are divided into subparticles during particle generation. This is to preserve the convex shape of the particles themselves even in the case of concave geometries of the whole test specimen. Polygonal particles are used in this project. Due to this, the simulation is limited to only two dimensions up to now, although the simulation is principally designed with three dimensions, of course. Another simulation has been developed at our institute, it is a simulation using spherical particles. For this simulation, all three dimensions can be used.

In 2016, the particle generation and the generation of a substructure was one of the working points. The aim is to represent the different concrete components such as aggregate and hydrated cement. Therefore, the two

sional konzipierte Simulation zunächst auf zwei Dimensionen beschränkt. An unserem Institut wurde außerdem noch eine weitere DEM-Simulation mit kugelförmigen Teilchen entwickelt, die für alle drei Raumdimensionen verwendet werden kann.

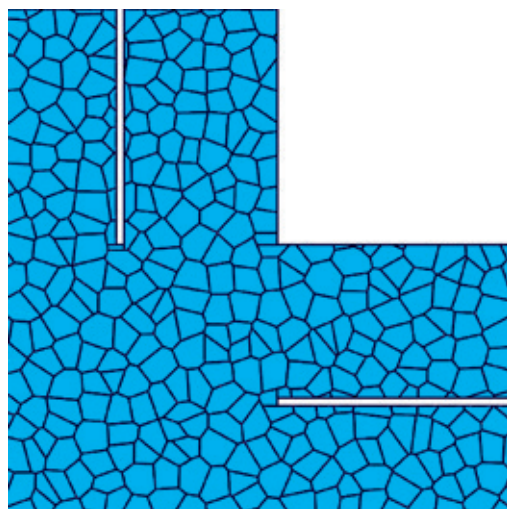
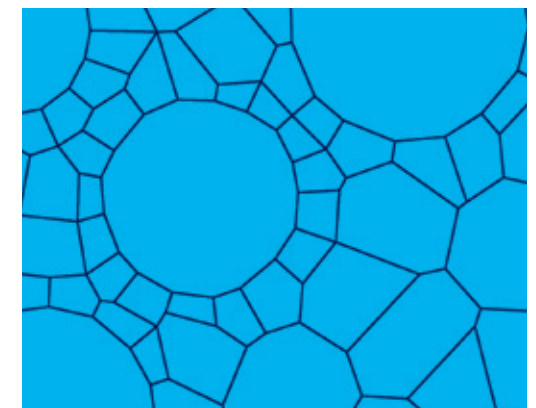
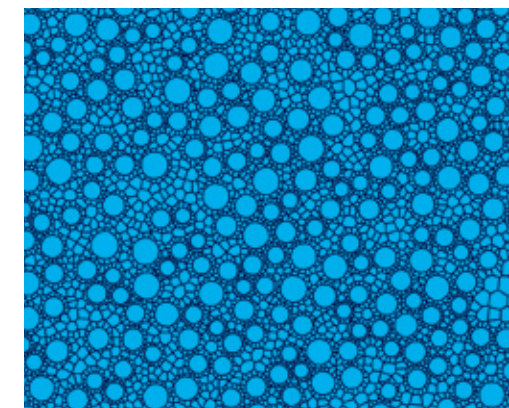
2016 wurde weiter an der Partikelgenerierung und an der Modellierung einer Substruktur gearbeitet, um die unterschiedlichen Betonkomponenten Zuschlagkorn und Zementmatrix zu repräsentieren. Dies gelingt durch ein Zusammenwirken der beiden genannten Simulationstypen. Zunächst wird mit der Simulation für kugelförmige (bzw. im zweidimensionalen Fall kreisförmige) Teilchen eine Durchmischung bzw. Schüttung aus Körnern unterschiedlicher Durchmesser berechnet. Danach wird mit den Mittelpunkten der die Zuschlagkörner repräsentierenden Partikel eine modifizierte Voronoi-Zerlegung durchgeführt. Bei der Modifizierung werden Hilfspunkte in zufällig variierenden Abständen um die Zuschlagkörner herum platziert, um hierdurch deutlich kleinere, jedoch wiederum zufällige bzw. statistisch abweichende Partikel der Zementmatrix zu erhalten. Hierbei entstehen unterschiedlich große Partikel, die von runden Partikeln abstammen, jedoch polygonal berandet und konvex sind, was ein dichtschießendes Ensemble ergibt. Die Konvexität ist zudem für den Kontaktkraftberechnungsalgorithmus erforderlich.

simulations mentioned above are combined. At first, a mixture of grains of different diameters is simulated using the simulation with spherical particles. Then, a modified Voronoi-tessellation is done with the midpoints of the particles representing the aggregate. For the modification, helping points are places around the aggregate particles in randomly varying distances in order to get much smaller and also randomly or statistically varying particles which represent the hydrated cement.

This leads to particles of different sizes, that are polygonally bounded though they originate from spherical particles. The polygonal shape is required to get a dense particle ensemble. Furthermore the convexity is required for the force calculation.

- **Titel | Title**
Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen
Simulation of concrete failure with discrete elements
- **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG – Zukunftskonzept der TU Dresden)
- **Zeitraum | Period**
10.2013 – 10.2017
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dr.-Ing. Birgit Beckmann

Substruktur für Zuschlag und Zementsteinmatrix – Ensemble von polygonalen Partikeln unterschiedlicher Größe (links gesamt, rechts Detail) | Substructure for aggregate and hydrated cement – ensemble of polygonal particles of different sizes (left overview, right detail) | Graphic: Birgit Beckmann



Partikelensemble – Generierung von konvexen Partikeln auch bei einem nichtkonvexen Betonkörper | Particle ensemble – generating of convex particles even in non-convex concrete bodies | Graphic: Birgit Beckmann

UHPC BEIM ULTRASCHALLTEST

UHPC IN THE ULTRASONIC TEST

Für neue Höchstspannungsleitungen werden kompakte Masten und Traversen benötigt, um den Raumbedarf gering zu halten und schonend in das Landschaftsbild einzugreifen. In dem Verbundforschungsvorhaben KoHöMaT (Kompakte Höchstspannungsmasten und -traversen) entwickeln sieben Projektpartner aus dem Elektro- und Bauingenieurwesen gemeinsam Lösungen, unter anderem für Schleuderbetonmasten aus ultrahochfestem Beton (UHPC).

Am Institut für Massivbau werden gemeinsam mit dem Institut für elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) der Technischen Universität Dresden die Materialeigenschaften des UHPC untersucht. Für den geplanten Einsatz sind dabei nicht nur die mechanischen Eigenschaften, sondern auch die elektrischen Kenngrößen und eventuelle Wechselwirkungen aus beiden Beanspruchungen von Bedeutung. So wurde z. B. untersucht, ob sich das Gefüge von Beton bei einer andauernden Lagerung in einem elektrischen Feld verändert. Durch die kompakte Geometrie der Masten ist der Abstand der Leiterseile zum Beton verhältnismäßig gering, so dass elektrischen Feldstär-

For new high voltage power lines, compact masts are needed in order to minimize the occupied space and to blend nicely into the surrounding landscape. In the joint research project KoHöMaT (compact highest voltage masts and cross arms), 7 project partners from both civil and electrical engineering are developing solutions for pylons made of ultra-high performance concrete (UHPC).

For this reason, our institute and the Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering (IEEH) of the TU Dresden are studying the material parameters of UHPC. For the intended use, the electrical resistance and the possible interactions between mechanical and electrical loads is of importance.

It was analysed, e.g. if the concrete's texture changes when it is constantly subjected to an electrical field. Because of the mast's compact geometry, the distance between the concrete and the transmission line conductors is relatively small. This leads to electrical field strengths that are much higher than the usual values in the construction industry. To simulate the entire lifetime over a short time period, an electrical

ken vorliegen, wie sie im Bauwesen sonst nicht üblich sind.

Für die Versuche wurde das Fünffache der erwarteten Feldstärke gewählt, um die gesamte Lebenszeit im Zeitraffer zu simulieren. Die Probekörper wurden im Alter von einem Monat für einen bzw. drei weitere Monate einem Gleichspannungs- oder Wechselfeld ausgesetzt. Die dabei auftretenden Gefügegenänderungen wurden mit Referenzprobekörpern verglichen, welche über den gleichen Zeitraum in einer Klimakammer lagerten. Sowohl Gefügeverdichtungen infolge Hydratation als auch Mikrorisse beeinflussen die Ultraschalllaufzeit. Deshalb wurde diese an definierten Messpunkten vor und nach der Lagerung im elektrischen Feld bestimmt. Außerdem wurden Steifigkeit und Festigkeit im einaxialen Druckversuch ermittelt.

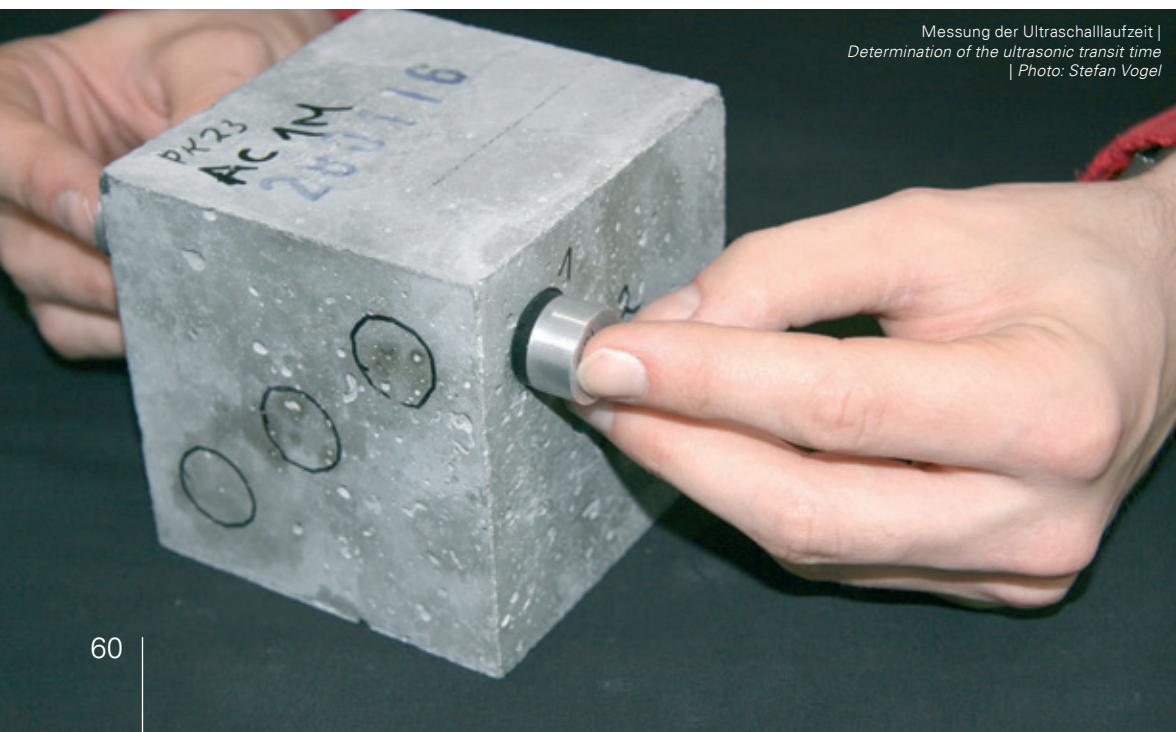
Nach einem Monat Lagerung im elektrischen Feld sind keine signifikanten Abweichungen zu den Referenzproben erkennbar. Nach drei Monaten Lagerung zeigen die Referenzproben eine leichte Gefügeverdichtung, einhergehend mit einer minimalen Nachverfestigung. Diese ist bei den Proben aus dem elektrischen Feld weniger stark ausgeprägt. Die Festigkeit und die Gefügedichte weisen aber immer noch die gleiche Größenordnung wie vor der elektrischen Belastung auf. Die Dauerhaftigkeit des UHPC ist demnach durch den Einfluss des elektrischen Feldes nicht gefährdet.

field strength, five times higher than to be expected, was used in the experiments.

At the age of one month, the test pieces were exposed to either a direct current or to an alternating voltage field for three months. The changes in the texture were compared to control samples, which were stored in a climatic chamber for the same duration.

Both compaction of the matrix through hydration, as well as micro cracks influence the ultrasonic transit time, which was determined at precise measuring points before and after the test pieces were subjected to an electrical field.

Furthermore, stiffness and uniaxial strength were determined. After one month in the electrical field, the test pieces showed no significant differences to the control sample. After three months, the reference piece showed a small compaction in the structure and a minimal increase in strength. This behaviour was less marked in the test pieces subjected to an electrical field. The strength and texture density remained similar to that observed before subjecting the samples to either a direct current or to an alternating voltage. This means that electrical fields don't endanger the durability of UHPC.



Messung der Ultraschalllaufzeit |
Determination of the ultrasonic transit time
| Photo: Stefan Vogel

Lagerung der Betonproben im Gleichstromfeld |
Storage of the concrete specimen in the DC field
| Photo: Maher Bakka



► Titel | Title

Untersuchungen zum Einfluss elektrischer, thermischer und mechanischer Belastung auf die Materialparameter sowie zur elektrischen Lebensdauer des bewehrten UHPC als Teilprojekt des Vorhabens KoHöMaT – Kompakte Höchstspannungsmasten und -traversen

Investigations on the influence of electrical, thermal and mechanical loading on material parameter as well as on electrical endurance of reinforced UHPC a part of the joint project KoHöMaT – compact highest voltage masts and cross arms

► Förderer | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Projektträger: FZ Jülich GmbH / KoHöMaT

► Zeitraum | Period

10.2013 – 03.2016

► Leiter | Project manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► Bearbeiter | Contributor

Dr.-Ing. Kerstin Speck

► Projektpartner | Project partners

6 Partner, davon 3 Forschungseinrichtungen, 3 Unternehmen

AUFGETAUCHT – BETON IN DER TIEFSEE

TURNED UP – CONCRETE IN THE DEEP SEA

Im Rahmen der Helmholtz-Allianz ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments (www.robex-allianz.de) wird am Institut für Massivbau an zwei Teilprojekten gearbeitet, die unterschiedlicher kaum sein können: die Entwicklung von Betondruckgehäusen für die Tiefsee und die Untersuchung von Möglichkeiten für das Bauen auf dem Mond.

Für den Einsatz in der Tiefsee ist ultrahochfester Beton (UHPC – ultra-high performance concrete) mit Druckfestigkeiten bis ca. 250 N/mm² und damit dem ca. Achtfachen von Normalbeton ein ideales Material. Durch eine genau abgestimmte Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe, fein gemahlten Zement und die Zugabe von Mikrosilika als Füllstoff entsteht ein sehr dichtes Gefüge. Der gegenüber Normalbeton um ein Vielfaches kleinere Porenraum von UHPC macht den Werkstoff wasserdicht bis hin zu gasdicht. Der Fokus der Forschung liegt neben der Formoptimierung von Druckgehäusen unter hydrostatischer Belastung auf deren Bemessung unter Ausnutzung der erhöhten Druckfestigkeit des Betons bei mehraxialer Beanspruchung.

Within the Helmholtz Alliance ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments (www.robex-allianz.de), the Institute of Concrete Structures is working on two subprojects which could not be more different: the development of concrete pressure housings for deep-sea environments and the investigation of methods for building on the moon.

Ultra-high performance concrete (UHPC) with compressive strengths up to approx. 250 N/mm², which is approximately eight times that of normal strength concrete is an ideal material for use in the deep sea. The precisely determined gradient of grain size distribution of the aggregates, the finely ground cement and the addition of micro silica as filler leads to a very dense structure. The UHPC has a much smaller pore volume compared to that of normal strength concrete, making the material water-proof or even airtight. In addition to optimizing the form of pressure housings under hydrostatic load, this research focuses on the design of the housing by taking advantage of the increased compressive strength of the concrete under multiaxial stress.

Nach Kurzzeitdruckversuchen im Drucktank des Deutschen Forschungsinstituts für künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen konnte nunmehr auch die Langzeitbeständigkeit gezeigt werden. Im Juli 2016 wurde ein Betondruckgehäuse nach einem Jahr im Arktischen Ozean aus 2.500 m Tiefe geborgen. Über ein Jahr lang waren das Kriechverhalten unter zwei-axialer Beanspruchung und die Entwicklung der Feuchtigkeit und Temperatur im Inneren aufgezeichnet worden. Ohne eine zusätzliche Beschichtung hielt die 25 mm starke UHPC-Wand des Gehäuses dem Wasserdruck von ca. 250 bar sicher stand.

Recently, the long-term stability of the structure was proven by short-term pressure tests in the pressure tank of the German Research Institute for Artificial Intelligence (DFKI) in Bremen. In July 2016, a concrete pressure housing was recovered after one year in the Arctic Ocean at a depth of 2,500 m. For over a year, the creep behaviour under biaxial stress on the inner surface and the development of humidity and temperature in the interior of the housing were recorded. Without any additional coating, the 25 mm thin UHPC wall of the housing withstood a water pressure of 250 bars without any problems.

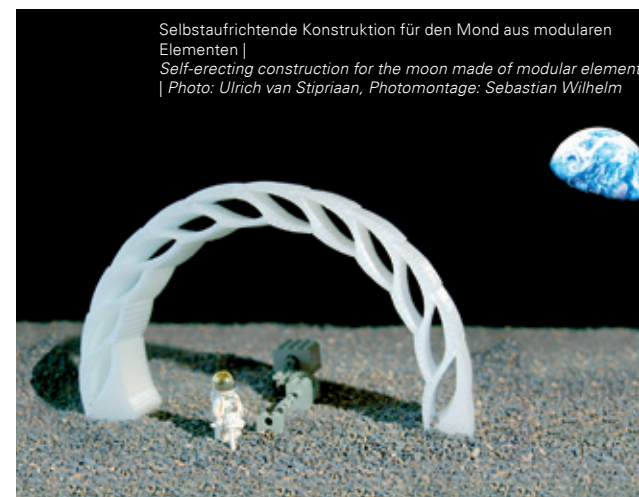
Im Teilprojekt Bauen auf dem Mond wurden modulare Strukturen entwickelt und untersucht, die am Boden montiert und ohne Hebeteknik aufgerichtet werden können. Eine so errichtete Mondbasis könnte in Zukunft als Forschungs- und Schutzkonstruktion oder als Ausgangspunkt für die Erkundung anderer Planeten, wie z. B. dem Mars, genutzt werden. Ziel ist es, den Beton für die einzelnen Segmente aus den Ressourcen des Mondes zu gewinnen. Als Fertigungsverfahren werden derzeit zwei Methoden untersucht: die Fertigung mit Hilfe von Dampfdruck und das 3D-Drucken mit Beton.

In the subproject 'building on the moon,' modular structures were developed and examined, which can be mounted on the ground and erected without lifting technology. A moon base constructed in this manner could be used as a research station, as a protective shelter, or as a starting point for the exploration of other planets, such as Mars. The goal is to manufacture the concrete for the single segments utilizing resources found on the moon. As a potential manufacturing process, two methods are currently being investigated: production with the help of steam pressure and 3D printing with concrete.

Druckgehäuse aus UHPC nach einem Jahr in 2.500 m Tiefe im arktischen Ozean | Concrete pressure housing after one year at the Arctic Sea in 2,500 m depth | Photo: Sebastian Wilhelm



Selbstaufrichtende Konstruktion für den Mond aus modularen Elementen | Self-erecting construction for the moon made of modular elements | Photo: Ulrich van Stipriaan, Photomontage: Sebastian Wilhelm



- **Titel | Title**
ROBEX – Robotische Erkundung unter Extrembedingungen
Robotic Exploration of Extreme Environments
- **Förderer | Funding**
Helmholtz-Gemeinschaft
- **Zeitraum | Period**
10.2012 – 09.2017
- **Teilprojektleiter | Subproject manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm
- **Projektpartner | Project partners**
18 Forschungseinrichtungen und Firmen in ganz Deutschland

STÜTZEN KRAFTFLUSSGERECHT FORMEN

COLUMNS SHAPED AS A FUNCTION OF LOADING

Ziel von diesem Teilprojekt des SPP 1542 ist es, Stützen entsprechend ihrer Beanspruchungsart zu entwerfen und zu konstruieren, sodass an den Kraftfluss angepasste Formen entstehen. Diese Herangehensweise führt in den meisten Fällen zu Tragfähigkeitssteigerungen, wenn für den Vergleich Stützen mit konstantem Querschnitt und gleichem Materialbedarf herangezogen werden. Demzufolge können mit dieser Ausführungsart materialsparende und somit leichtere und schlankere Stützen gebaut werden. Zusätzlich zu dieser funktionalen Verbesserung verspricht die Methode auch einen hohen ästhetischen Gewinn.

In den vergangenen Jahren wurden vor allem zentrisch gedrückte Stützen untersucht. Eine an den Kraftfluss angepasste Form, die sich von der herkömmlichen konstanten Stützengeometrie unterscheidet, ist bei dieser Belastungsart jedoch nur für schlanke Druckglieder möglich. Gedrungene Stäbe verformen sich infolge von zentrischem Druck nicht bzw. nur geringfügig, woraus der wesentliche Unterschied zu schlanken Stützen resultiert. Bei letzteren führt die Auslenkung in Abhängigkeit von der sich einstellenden Verformungsfigur zu einer über die

The aim of this SPP 1542 subproject is to design and construct columns according to the flow of forces within a structure so that optimized shapes can be obtained. In most cases, the load bearing capacity, relative to that of columns with the same volume and a constant cross-section, can be increased with this method. Accordingly, this construction approach allows for an efficient use of building materials, and therefore, slender and more lightweight columns. In addition to this functional improvement, the method carries a high aesthetic potential.

The last few years were spent studying axially loaded columns. For this loading type, an optimized shape for slender columns, differing from the usual constant geometry, offers an advantage. In slender columns, the deflection depending on the function of the deformation figure leads to bending moments. The size of the bending moments varies over the column length, resulting in changing stresses along the column's cross-sections. To achieve a uniform stress distribution, and thereby the best utilization of material over the entire length of a column, the shape can be optimized. Interest-

Stützenhöhe variierenden Momentenbeanspruchung, die wiederum zu verschiedenen Spannungszuständen im Querschnitt führt. Mit der Zielsetzung, überall eine möglichst konstante Spannung und somit eine bestmögliche Materialausnutzung zu erreichen, kann folglich die Stützenform optimiert werden. Im Gegensatz dazu werden gedrungene Stützen nicht durch zusätzliche verformungsabhängige Momente beansprucht, sodass die erzeugte Spannung nur von der in der gesamten Stütze nahezu konstanten Druckkraft abhängig ist. Somit bewirkt ein konstanter Stützenverlauf in diesen Fällen bereits eine homogene Materialausnutzung im Hinblick auf die Spannungen. Die Optimierung von schlanken, zentrisch gedrückten Stützen wurde im Projekt ausgiebig erforscht, wobei die theoretisch ermittelten Ergebnisse der Stützenformoptimierung auch experimentell bestätigt werden konnten.

In einem zweiten Schritt werden nun aufbauend auf diesen Erfahrungen vom zentrischen Druck abweichende Belastungsfälle von Stützen untersucht. Dafür galt es, zunächst die typischsten Belastungsfälle von Hochbaustützen herauszustellen und sinnvolle Abgrenzungen zu definieren. Anschließend wurde eine Optimierungsmethode für eine ideale Materialausnutzung entwickelt. Die experimentelle Überprüfung ist Gegenstand weiterer Arbeiten.

ingly, the deformation of short and compact columns under axial compression is negligible. As a result, bending moments and related stresses in compact columns do not play a significant role. The generated stress is only a function of the compressive force, and a constant shape in the longitudinal direction results in a uniform stress distribution. The optimization of slender axially loaded columns was studied extensively in this project. The theoretically determined results were verified with experiments in both longitudinal and transverse direction.

Based on the results obtained, columns with an eccentric loading will be studied in a second step. Therefore, the first step was to identify the most typical load cases of columns and then define eligibility criteria. Afterward, an optimization method was developed to obtain the best material utilization. The experimental testing is subject to further research.



Betonage einer schlanken formoptimierten Stütze |
Concreting of a long, form optimised column
| Photo: Angela Schmidt



Fußbereich einer in die Säulenprüfmaschine
eingebauten formoptimierten Stütze |
Bottom area of a form optimised column
in the testing machine
| Photo: Angela Schmidt

- **Titel | Title**
Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile
Cross sectional adaption for rod-shaped elements in compression
- **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542
- **Zeitraum | Period**
07.2011 – 09.2014 (1. Periode)
10.2014 – 09.2017 (2. Periode)
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Angela Schmidt

SCHICHT AUF SCHICHT: SANDWICHPLATTEN

LAYER BY LAYER: SANDWICH SLABS



Prüfaufbau für zwei-achsig
gespannte Platten |
Experimental setup for
two-way spanned slabs
| Photo: Michael Frenzel

Stahlbetonplatten sind in nahezu jedem neu errichteten Gebäude vorhanden. Dazu wird im Vergleich zu anderen tragenden Bauteilen, wie Balken oder Stützen, viel Material verwendet und aus statischer Sicht ineffizient eingesetzt. Wir haben uns daher zum Ziel gesetzt, den Querschnitt von zweiachsig gespannten Platten in der Art auszubilden, dass die Betone und der Bewehrungsstahl an möglichst vielen Stellen der Tragstruktur effizient ausgenutzt werden, um gegenüber herkömmlich ausgeführten Platten eine Verringerung des Eigengewichtes zu bewirken und damit zur Schonung von natürlichen Ressourcen beizutragen.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag 2016 auf der Prüfung und Untersuchung von 2 m × 2 m × 0,1 m großen, dreischichtigen Platten, die an den Ecken liniengelagert wurden und so den Feldbereich punktgestützter Decken repräsentieren. Ziel der Prüfungen war es, verschiedene Versagensarten zu identifizieren, die effiziente Nutzung der gewählten Materialien nachzuweisen und zudem die massenbezogenen Einspar-

Steel-reinforced concrete slabs can be found in nearly every modern building. In comparison to other load-bearing structures, such as beams or columns, their construction requires a large amount of material, and they are structurally inefficient. To optimize the structural performance of concrete slabs, cross-sections of two-way spanned slabs were developed with the goal, that nearly everywhere, concrete and steel reinforcement is used efficiently. Such slabs would have a lower dead weight relative to commonly constructed slabs and would contribute to the conservation of natural resources.

The focus of the research in 2016 laid on the testing of 2 m × 2 m × 0.1 m large, three-layered slabs, which were simply supported at the corners to simulate the mid-field area of a point-supported ceiling. The goals of the tests were to identify different failure modes, to verify that the chosen materials had been used efficiently, and to show that the construction method has the potential to reduce mass relative to conventionally steel reinforced ceilings.

potentiale der Bauweise gegenüber der konventionellen Ausführung aufzuzeigen. Es wurden insgesamt 17 Platten in sechs verschiedenen Konfigurationen untersucht. Dabei variierten sowohl der Bewehrungsgrad als auch der Querschnittsaufbau. Die oberen und unteren Deckschichten aus einem Beton der Festigkeitsklasse C20/25 wiesen Stärken von 20 und 30 mm auf. Als Kernschichtmaterial kam ein industriell gefertigter Porenleichtbeton mit einer Trockenrohdichte von 0,6 bzw. 0,9 kg/dm³ mit Druckfestigkeiten von 3–8 N/mm² zum Einsatz. Die Stahlbewehrung mit einem Durchmesser von 6 mm wurde kreuzweise und randparallel in der Biegezugzone eingebracht.

Die Last wurde punktuell an vier Stellen in die Platte eingeleitet. Im Vorfeld waren Platten und Belastung anhand numerischer Modelle in der Art konfiguriert worden, dass Schub- und Biegezugversagen gleichzeitig auftreten können. Dies wurde bei variierendem Bewehrungsgrad erreicht, womit die hohe Effizienz des Dreischichtaufbaus nachgewiesen werden konnte. Des Weiteren wurde die Kernschicht einer Plattenserie horizontal gradiert, indem zwei verschiedene Betone gemäß dem Kraftfluss platziert wurden, also der weniger feste in Plattenmitte, der höherfeste im Auflagerbereich. Diese Platten zeigten ein nahezu identisches Tragverhalten gegenüber einer herkömmlichen, einschichtigen Ausführung bei gleichzeitiger Einsparung von 15 % Eigengewicht.

A total of 17 slabs in six different configurations were examined. Variations were made in the ratio of reinforcement as well as the shape of the cross section. The upper and lower cover layers had a thickness of 20 mm resp. 30 mm and were produced with a concrete of strength class C20/25. For the core layer, industrially manufactured cellular lightweight concretes with dry weights of 0.6 kg/dm³, and 0.9 kg/dm³ and a compressive strength between 3 and 7 N/mm² were used. Steel bars with a diameter of 6 mm were placed in the bottom layer, crosswise and parallel to the edges.

The load was introduced at four single points by steel girders. Both expected failure modes – shear and bending failure – were observed in relation to the amount of reinforcement. By integrating calibrated calculation models, slabs could be configured so that both failure modes occurred simultaneously, thereby proving the efficiency of the three-layer design. Furthermore, the core layer of one series of slabs was horizontally graded by placing two different concretes in accordance with the flow of force. A low strength concrete was placed at the slab's centre and a higher strength one at the supports. The load-bearing behaviour of these slabs was nearly identical to that of the regular one-layer reference slab, allowing for a 15 % reduction in weight.

Typisches Rissbild in einem Quadranten, Plattenunterseite |
Typical crack formation in a quarter of a tested slab, view of
the bottom side | Photo: Michael Frenzel



- **Titel | Title**
Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen
Lightweight ceiling structures made of layered high-performance concrete
- **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542
- **Zeitraum | Period**
10.2011 – 10.2014 (Phase 1)
11.2011 – 10.2017 (Phase 2)
- **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
- **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Michael Frenzel

WILLY GEHLER – AUF DEN SPUREN EINES GENIES?

WILLY GEHLER – ON THE TRACKS OF A GENIUS?

Der ehemalige Professor und Bauingenieur Willy Gehler (1876–1953) ist trotz seiner Verdienste um die Erforschung und Etablierung des Baustoffs Stahlbeton heute kaum bekannt. Seine unklaren Verstrickungen mit den jeweils machthabenden politischen Mächten trugen hierzu in der Vergangenheit bei. Doch gerade diese politischen Verstrickungen hinweg über vier Epochen deutscher Geschichte – u. a. war Gehler Mitglied der NSDAP – sowie seine herausragende Stellung in der Stahlbetonentwicklung machen ihn für die heutige Forschung interessant. Hier setzt das interdisziplinäre Forschungsprojekt an.

2016 standen wieder ausgiebige Recherchen im Vordergrund. Neben der üblichen Archivrecherche gingen wir jedoch auch die Spurensuche zu Willy Gehler in der Baupraxis an. In diesem Zusammenhang wurde die wohl älteste, bis vor kurzem erhaltene Stahlbetonbrücke Mitteleuropas, die Brücke über den Lockwitzbach in Dresden/Niedersedlitz, aufgefunden. Leider wurde die Brücke im April 2016 aufgrund eines zu geringen Durchflussquerschnitts abgerissen. Für die Forschung ist es ein Glücksfall, dass der Abbruch dokumentiert werden konnte.

Despite his research merits, and his important role in the development of reinforced concrete, the former professor and civil engineer Willy Gehler (1876–1953) is little known today. One reason may be his murky political affiliations with various political forces throughout four epochs of German history, especially the years spent as a member of the NS-Party. Such a constellation of circumstances and scientific contributions is of interest in today's research, and it is the reason of an interdisciplinary project in collaboration with the Chair of History of Technology and Technological Sciences of TU Dresden.

This year, the focus laid on extensive historical investigation. In addition to the usual archive search, we looked for constructions which were designed by Gehler. In that context, the bridge over the creek Lockwitzbach in Dresden/Niedersedlitz, probably one of the oldest reinforced concrete bridges in Central Germany, was found. Unfortunately, the bridge was demolished in April 2016 due to a lack of vertical clearance. For our research, it was a stroke of luck that the demolition could be documented. During demolition, both concrete and steel

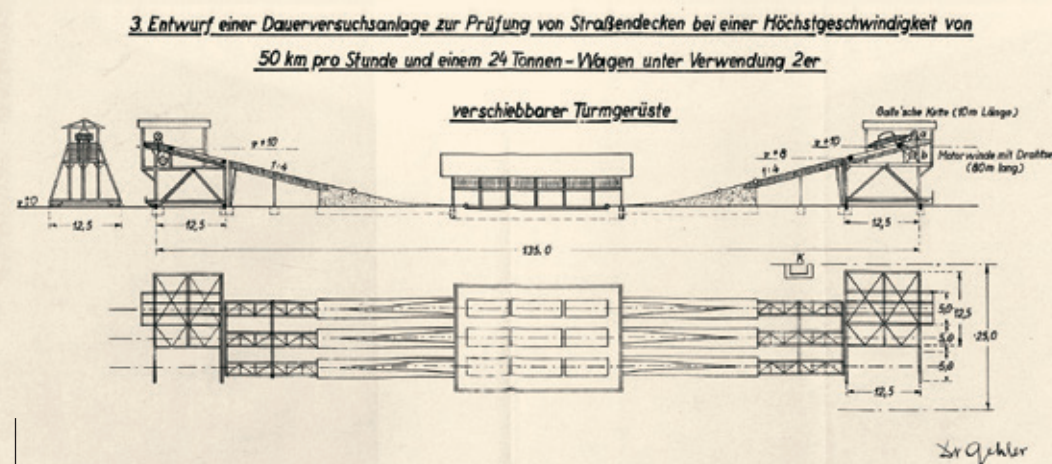
te. Beim Abbruch konnten sowohl Betonprüfkörper als auch Betonstahlproben entnommen werden, die nun im Labor analysiert werden können. Aus den Untersuchungen erhoffen wir uns vertiefte Erkenntnisse zum Materialverhalten historischer Betone und Betonstähle, die bei der Bewertungen von Bauvorhaben im Bestand nützlich sein können.

Ähnlich vielseitig wie die Forschung Willy Gehlers ist auch die Archivrecherche zu seiner Person. Neben dem Universitätsarchiv der TU Dresden wurden auch Archive anderer Hochschulen, z. B. der Universität Stuttgart, besucht. Auch der Großteil der relevanten Bestände des DAfStb, des Bundesarchivs Berlin und des Hauptstaatsarchivs Dresden wurden in Erscheinung genommen. Hierbei ergaben sich Hinweise zu möglichen Forschungsvorhaben Willy Gehlers in den verschiedenen Epochen, beispielsweise zum Bau einer Versuchsanlage für den Betonstraßenbau für die Organisation Todt. Die Recherchen wurden auch auf Archive der russischen Föderation in Moskau ausgeweitet. Zunächst wurde vermutet, dass Akten zur Forschung nach den Wirren des 2. Weltkriegs nach Russland gelangten. Dies konnte zunächst nicht bestätigt werden, jedoch ergaben sich Hinweise, die auf Beziehungen und einen Forschungstransfer mit russischen Institutionen hindeuten.

samples were taken, which were available to be analysed in the laboratory. From the investigations, we hoped to gain in-depth knowledge of the material behaviour of historical concretes and concrete steels, which may be useful in evaluating construction projects in existing buildings.

Befitting the wide variety of Willy Gehler's research, the search in archives was widespread as well. In addition to the archive of the Dresden University, further archives of other universities e.g. those of Munich and Stuttgart were visited. The majority of the relevant holdings of the DAfStb (German Research Association for concrete structures), the main state archive in Berlin and the state archive in Dresden were inspected. This research provided information on possible research projects of Willy Gehler during these epochs. For example, there is evidence that Gehler was involved in the construction of a test facility for concrete road construction for the organization Todt. The searches were further extended to archives of the Russian Federation with a focus on Moscow. It was initially assumed that research documents came to Russia after the turmoil of World War II. This suspicion could not be confirmed at first, but there are clues which point to relations with the Russian Federation for a research transfer effort.

In den Akten gefunden: Plan einer Versuchsanlage zur Prüfung von Betonfahrbahnplatten (1936)
 Found in the archive: plan of a testing field for reinforced concrete slabs for streets (1936)
 | Source: Bundesarchiv Berlin R 4601-676, nicht nummeriert



Eine historische Brücke verschwindet: Abbruch der vermutlich ältesten bis dato erhaltenen Stahlbetonbrücke Mitteldeutschlands im April 2016 in Dresden/Niedersedlitz | *A historical bridge disappears: demolition of the probably oldest obtained reinforced concrete bridge in Central Germany in April 2016* | Photo: Oliver Steinböck



- ▶ **Titel | Title**
Willy Gehler (1876–1953) – Spitzenforschung, politische Selbstmobilisierung und historische Rezeption eines bedeutenden Bauingenieurs und Hochschullehrers im „Jahrhundert der Extreme“
Willy Gehler (1876–1953) – edge research, political self-mobilization and historical assessment of an important civil engineer and professor in “the century of extremes”
- ▶ **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- ▶ **Zeitraum | Period**
11.2014 – 10.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock
- ▶ **Projektpartner | Project partner**
Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte, TU Dresden

STRASSENBRÜCKEN IM BESTAND – SYMBIOSE VON FORSCHUNG UND PRAXIS

EXISTING ROAD BRIDGES – SYMBIOSIS BETWEEN RESEARCH AND PRACTICE

Die Bewertung von Bestandsbrücken rückt seit einigen Jahren, spätestens seit der Einführung der Nachrechnungsrichtlinie (NRR) im Jahr 2011, wieder vermehrt in den Schwerpunkt der Forschung. Gegenüber Brückenneubauten ist hier eine differenzierte Betrachtungsweise notwendig, schließlich sind die alten Brücken nach anderen Maßstäben entworfen und gebaut worden. Zum einen hat man sich früher mit anderen Verkehrsprognosen und Anforderungen als heute auseinandersetzen müssen, andererseits haben wir materialübergreifend bei den Konstruktionsformen von Brückenüberbauten dazugelernt. Letztlich erlauben es unsere heutigen umfangreichen Regelwerke, komplex zu entwerfen und dabei das Fehlerrisiko zu minimieren sowie die Ergebnisse der Forschung einfließen zu lassen.

Die Nachrechnungsrichtlinie wurde 2016 durch eine 1. Ergänzung fortgeschrieben. Insbesondere wurde der Abschnitt zu den Betonbrücken auf Basis zahlreicher Forschungsergebnisse durch die Arbeitsgruppe der BASt überarbeitet. Erste

Since the introduction of the 'Nachrechnungsrichtlinie' (German recalculation guideline, in short: NRR) in 2011, the assessment of existing road bridges has become increasingly the focus of research. When looking at older structures, a differentiated approach is necessary, because the old bridges have been designed and built according to former standards. There are two main reasons for that: on the one hand, in the past, we have dealt with lower traffic loads and requirements than the ones we have today. On the other hand, today we know more about the mechanical behavior of our materials and the load-bearing mechanisms of the bridge superstructures. Now, there are extensive sets of rules which allow us to design in a complex way while minimizing the risk of errors and including the latest research results.

The German recalculation guideline was added by a first supplement in 2016. In particular, the chapter about concrete bridges was revised and upgraded by a special working group of

Nachrechnungen haben gezeigt, dass beispielsweise die Schubtragfähigkeit älterer Betonbrücken nach aktuellen Bemessungsvorschriften nicht nachzuweisen ist. In der 1. Ergänzung zur NRR wurde daher u. a. das Hauptzugspannungskriterium aufgenommen. Häufig gelingt der Nachweis nun nach Stufe 2 der NRR, bei der keine aufwendigen zusätzlichen Abstimmungen (wie in Stufe 4) notwendig sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens im Auftrag des Landesamts für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern konnte das Hauptzugspannungskriterium auf Fertigteilkonstruktionen der ehemaligen DDR erfolgreich angewendet werden. Weitere alternative Nachweise zur Schubtragfähigkeit entsprechend Stufe 4, z. B. Druckbogenmodelle, wurden ebenfalls angewendet, bedurften jedoch der Abstimmung mit der obersten Baubehörde. Es wäre daher zu begrüßen, die Nachrechnungsrichtlinie weiter fortzuschreiben und um die Erkenntnisse der Forschungsarbeiten zu erweitern.

Die materialübergreifende Betrachtung der Brückenüberbauten im Projekt mündet in zahlreichen neuen Erkenntnissen im Umgang mit anderen Brückenüberbauten, z. B. in Bezug auf Besonderheiten von Stahlüberbauten der ehemaligen DDR oder bei der Nachrechnung von Gewölbeträgwerken. Der Projekterfolg ist ein Ergebnis der engen und konstruktiven Zusammenarbeit mit unserem Auftraggeber und allen beteiligten Ingenieurbüros, wofür wir uns an dieser Stelle bedanken möchten.

the BASt (Federal Highway Research Institute) by different research projects. One reason was that recalculations had shown, that in most cases, it is not possible to fulfill all requirements of the verification of the shear load bearing capacity of older concrete bridges according to currently valid standards. With the introduction of this first supplement, it is now allowed to calculate the load bearing capacity of a bridge on the basis of the main tensile stresses. In many cases, the load-bearing capacity can be confirmed at level 2 of the NRR without further restrictions.

Within the framework of our research project, on behalf of the Traffic and Transportation State Office of Mecklenburg-Western Pomerania, we used the criterion of the main tensile stresses successfully when looking at prefabricated bridge structures built during the former GDR. It was also possible to use alternative calculation methods according to level 4 of the guideline, but here we needed an agreement of the supreme building authority.

Within the project, we worked with bridge superstructures made of different materials. We have collected a lot of information about the different construction types which were built in the former GDR. For instance, there are some special characteristics by steel bridge decks or in the calculation of arch structures. These findings should be implemented in further supplements of the guideline.



Seitenansicht einer 4-feldrigen Balkenreihenbrücke über die BAB A14 zwischen Wendischbora und Nossen (SÜ K8052) | Side view of a bridge made of a series of bars with 4 spans over BAB A14 between Wendischbora and Nossen (SÜ K8052) | Photo: Oliver Steinbock



Untersicht einer 4-feldrigen Balkenreihenbrücke über die BAB A14 zwischen Wendischbora und Nossen (SÜ K8052) | Bottom view of a 4-span superstructure compounded of cellular concrete boxes with shear keys over BAB A14 between Wendischbora and Nossen (SÜ K8052) | Photo: Oliver Steinbock

► Titel | Title

Wissenschaftlich-technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommern

Scientific and technical supervision for application of the German recalculation guideline on the bridge stock of Mecklenburg-West Pomerania

► Förderer | Funding

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

► Zeitraum | Period

05.2011 – 06.2017

► Leiter | Project manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

► Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Nico Schmidt, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Mateusz Ewertowski M.Sc.



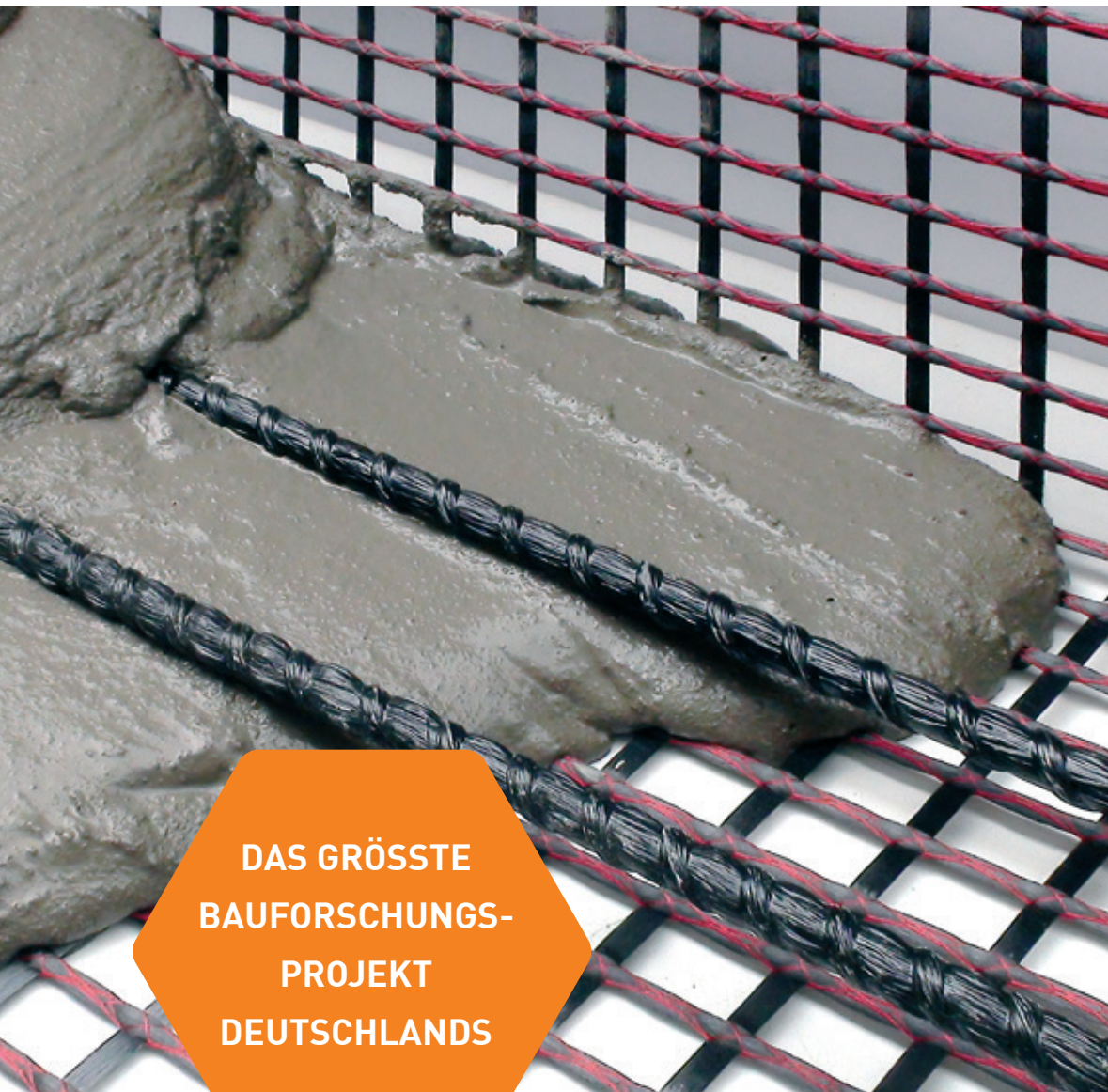
DAS C³-PROJEKT

THE C³ PROJECT



In der Carbonbetonforschung ist in den vergangenen Jahren viel passiert. Neben dem C³-Projekt, welches in Deutschland den Mittelpunkt der Forschung bildet, gibt es national und international zahlreiche weitere Forschungsprojekte zum Thema Carbonbeton. Im Folgenden wird zunächst ein grober Gesamtüberblick über den Stand des Wissens gegeben. Danach werden die einzelnen C³-Vorhaben kurz vorgestellt sowie auf die Kommunikation innerhalb des C³-Projektes und die neuesten Entwicklungen im C³-Konsortium eingegangen.

Many things have happened in carbon concrete research in the last couple of years. Beside the C³ project, being the heart of research around this topic in Germany, there are numerous further national and international research projects around carbon concrete. In the following pages, we will give a complete rough overview over the current level of knowledge. After that, the single C³ initiatives will be introduced, as well as the communication within the C³ project and the newest developments in the C³ consortium.



**DAS GRÖSSTE
BAUFORSCHUNGS-
PROJEKT
DEUTSCHLANDS**

Matten- und stabartige Carbonbewehrung | Grids and bars made of carbon fibres
| Photo: Dr.-Ing. Marko Butler, TU Dresden, Institut für Baustoffe

STAND DES WISSENS CURRENT SCIENTIFIC KNOWLEDGE

► Bewehrung

Es gibt textile und stabförmige Bewehrungen, für deren Imprägnierung vor allem Styrol-Butadien-Formulierungen und Epoxidharze zum Einsatz kommen. Die Garnquerschnitte der textilen Bewehrung reichen von 12 K (0,5 mm²) über 48 K (1,8 mm²) und bis zu zum Teil einem Vielfachen von 48 K (mehrfache Fächung). Die Durchmesser von Stäben betragen meist zwischen 8 und 12 mm. Eine Temperaturbeständigkeit ist sicher bis 40 °C und bei ausgewählten Bewehrungen auch bis 80 °C gegeben. Temperaturbeständige Bewehrungen bis 500 °C sind Bestandteil der aktuellen Forschung. Auch optimale Produktionsprozesse und die Verbesserung des Verbundes zwischen Bewehrung und Beton sind Schwerpunkte der Forschung.

► Beton

Für den Carbonbeton gibt es u. a. hochwertige Spezialbetone, die z. B. für die Bauteilverstärkung im Spritzverfahren mit textiler Bewehrung entwickelt und zugelassen sind. Es gibt jedoch auch massentaugliche normalfeste Betone mit Druckfestigkeiten von ca. 40–60 N/mm² und hochfeste Betone mit Druckfestigkeiten im Bereich von 100–120 N/mm² für die Verwendung im Gießverfahren, deren Bindemittelcompounds in jedem Fertigteilwerk verarbeitet werden können. Im Rahmen der Forschung wird sich vor allem mit der Optimierung der Betone und der Entwicklung völlig neuer ökologischer Betone, u. a. mit deutlich weniger Zementgehalt, beschäftigt.

► Verarbeitung und Produktion

Viele Verarbeitungs- und Produktionsprozesse sind noch manuell geprägt und damit für zahlreiche Anwendungsfälle nicht wirtschaftlich. Andere Verarbeitungs- und Produktionsprozesse gleichen denen des Stahlbetonbaus und werden somit dem Carbonbeton nicht gerecht, da die Eigenschaften des Carbons teils erheblich von

► Reinforcement

There are various types of textile grids and bar-shaped reinforcements for which styrene butadiene and epoxy resin impregnations are being used. The yarn cross sections of the textile reinforcement range from 12 K (0.5 mm²) over 48 K (1.8 mm²) and up to partly a multiple of 48 K (multiple plying). The cross section of bars is usually between 8 and 12 mm. The temperature resistance can be assured up to 40 °C and with selected reinforcements even up to 80 °C. The temperature resistant reinforcements for up to 500 °C are part of the current research. Optimal production processes and the improvement of the compound between reinforcement and concrete are a focus of research.

► Concrete

Beside others, various high quality special concretes have been developed and approved for use in conjunction with textile reinforcement as a structural component. There are however, also standard concretes which are suitable for mass production with compressive strengths of about 40 to 60 N/mm² and high-strength concretes with compressive strengths between 100–120 N/mm² for use in casting processes. Such concretes are comprised of binder compounds that can be handled in any precast factory. In the context of research, the focus is on optimisation of concrete and the development of completely new ecological concretes beside others with a considerably smaller cement mass.

► Processing and production

Many production and fabrication processes are still characterized by manual steps making them economically unfeasible for numerous application scenarios. Other processes resemble the reinforced concrete construction ones and do not take advantage of carbon concrete since

denen des Bewehrungsstahls abweichen. So ist Carbon bspw. leichter und Stahl schwerer als Beton. Um die Vorteile des Carbonbetons nutzen zu können und wirtschaftlich konkurrenzfähig zum Stahlbeton zu werden, müssen carbonbetonspezifische Prozesse entwickelt werden. Auch die für die Kalkulation so wichtigen Zeit- und Wertansätze sind zu ermitteln. All dies ist aktuell Bestandteil von Forschung und Entwicklung.

► Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Für die textilen Bewehrungen wurden die ersten Berechnungs- und Bemessungsmodelle im Rahmen der zwei Sonderforschungsbereiche SFB 532 in Aachen und SFB 528 in Dresden entwickelt. Für die stabförmige Bewehrung gibt es zahlreiche Literatur aus dem Ausland, die verschiedene Modelle beinhaltet. Auch ausländische Lieferanten von Bewehrungsstäben haben Berechnungsmodelle für ihre Bewehrungen. Allesamt sind in Deutschland aber aktuell noch nicht eingeführt und bedürfen einer systematischen Prüfung und Verifizierung. Die bisherigen Nachweis- und Berechnungsmodelle werden für die aktuellen Praxisprojekte genutzt. Im Rahmen der Forschung wird u. a. die Übertragbarkeit der bestehenden Nachweis- und Berechnungsmodelle auf die neu entwickelten Bewehrungen überprüft und analysiert, in welchen Bereichen noch Nachweis- und Berechnungsmodelle fehlen.

► Grundlagen des Bewehrns

Bisher orientiert man sich bei der textilen und stabförmigen Bewehrung sehr stark am Stahlbeton. Aktuell können vor allem ebene und leicht gekrümmte Flächen bewehrt werden. Kenntnisse zur Länge von Endverankerungen und Übergreifungsstößen nicht vorgespannter Bewehrung sind vorhanden. Auch der mögliche Schichtenaufbau und die notwendigen bzw. idealen Abstände zwischen den Bewehrungen resp. Betondeckungen sind weitgehend bekannt. Die Ausbildung von Eckausrundungen (Biegerolldurchmesser) ist ebenfalls untersucht und soweit bekannt, dass die Bewehrung in Pilotanwendungen sicher zum Einsatz kommen kann. Es gibt jedoch noch zahlreiche offene Punkte, die in aktuell laufenden Forschungs-

it's characteristics differ partly considerably from those of reinforcing steel. Carbon is, for instance, lighter than steel and concrete. To be able to use the advantages of carbon concrete, and to become economically competitive in comparison to reinforced concrete, carbon concrete specific processes have to be developed. Labor and production cycles need to be determined. All this is currently part of research and development.

► Proof of load bearing capacity and serviceability

First calculation and measuring models have been developed within the two special research areas SFB 532 in Aachen and SFB 528 in Dresden. There is a large number of international papers on bar-shaped reinforcements containing differing models. Foreign suppliers of reinforcement bars have calculation models for their reinforcements. All of them are yet to be introduced in Germany and require a systematic examination and verification. Currently, verification and calculation models are being used for on-going practical projects. Research examines, among others, the transferability of the existing models onto the newly developed reinforcement, and in which areas verification and calculation models are still missing.

► Basics of reinforcing

Until now, the main application for textile and bar-shaped reinforcement is on reinforced concrete. The material can be used on slightly curved surfaces. Knowledge concerning the length of end anchorages and overlap joints of non-prestressed reinforcements are existent, possible layer build-up, and the required or rather ideal distances between the reinforcement and the concrete surface are mainly known. The formation of corner fillets (bending roll diameter) has also been researched and is known so far, that the reinforcement can be securely applied in pilot projects. However, there are still numerous undetermined variables currently under research. These are, for example, intersections and corner constructions with textile concrete, elements for anchoring and the connection of single non-prestressed and prestressed reinforcement elements or the formation of an anchoring of a shear force reinforcement in the

vorhaben untersucht werden. Zu nennen sind u. a. Kreuzungspunkte und Eckausbildungen mit textilen Bewehrungen, Elemente zur Verankerung und Verbindung einzelner schlaffer und vorgespannter Bewehrungselemente oder die Ausbildung der Verankerung einer Querkraftverstärkung in der Druckzone eines Plattenbalkens.

► Ein- und Anbauteile

Schon der Laie erkennt, dass viele der für den Stahlbetonbau auf dem Markt vorhandenen Einbauteile nicht für die filigranen Carbonbetonbauteile genutzt werden können. Ein Teil der Einbauteile wurde an die Erfordernisse der filigraneren Carbonbetonbauteile angepasst, andere ganz neu entwickelt. Auf dem Markt sind Abstandhalter und Einbauteile verfügbar, mit denen es möglich ist, Lasten senkrecht zur Plattenrichtung einzutragen bzw. abzuleiten. Der größte Teil an oft erforderlichen Einbauteilen (Transportanker, Bewehrungsverbinder usw.) fehlt jedoch noch und ist im Rahmen der Forschung zu entwickeln.

► Prüfmethodik

Prüfverfahren für textile und stabförmige Bewehrungen sind sowohl für vorwiegend ruhende, nicht vorwiegend ruhende und zyklische Beanspruchung vorhanden. Viele sind bereits in der nationalen und internationalen Literatur beschrieben und werden aktuell in nationalen Richtlinien zusammengefasst. Prüf- und Nachweisconzepte, in denen z. B. der Umfang der Prüfungen festgeschrieben ist, sind aber noch nicht vollständig vorhanden. Diese sind zunächst national und später international abzustimmen. Prüfverfahren sowie Prüf- und

compression zone of a T beam.

► Mounting and attachment parts

Even the layman understands that many mounting parts on the market made for reinforced concrete are not suitable for filigree carbon concrete components. Sections of the mounting parts were adjusted to the requirements, others have been newly developed. There are spacers and mounting parts available on the market which make it possible to deflect loads vertically to the panel direction. The largest part of the often required mounting parts (transport anchor, reinforcement connector and so on) are still missing and to be developed through research though.

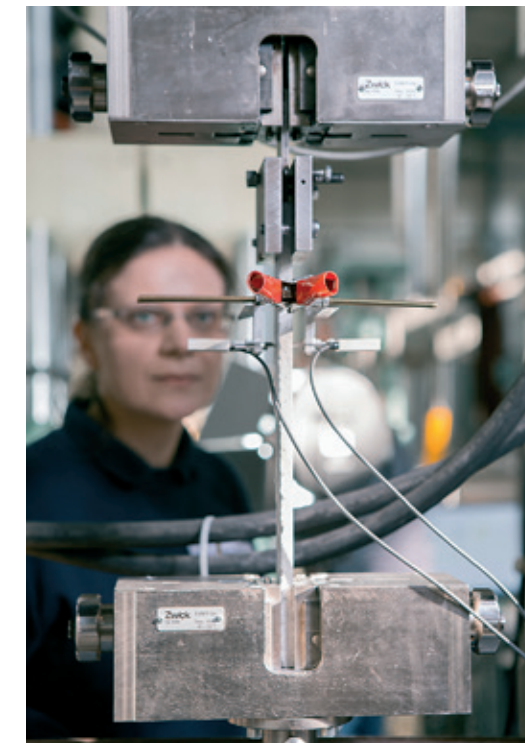
► Test methodology

Testing procedures for textile and bar-shaped reinforcements do exist for both mainly static and non-static, cyclic stress. Many have been described in national and international literature and are currently being summed up in the national directives. Test and analysis concepts stating e.g. the amount of testing are not yet fully evaluated. They are to be nationally and lateron interna-

tionally coordinated. Test procedures as well as test and analysis concepts for the durability, the fire behaviour, the sustainability and among others also the environmental compatibility are still aspects of research.

► Codes and guidelines

There are guidelines for the measuring of



Prüfung eines Probekörpers aus Carbonbeton im Otto-Mohr-Labor der TU Dresden (Auszugswiderstand) | Pull-out test of a carbon concrete specimen at OML | Photo: Jörg Singer

Nachweiskonzepte für die Dauerhaftigkeit, das Brandverhalten, die Nachhaltigkeit und u. a. auch die Umweltverträglichkeit sind noch Bestandteil der Forschung.

► Normen und Richtlinien

Auf internationaler Ebene existieren Richtlinien zur Bemessung von textilen und stabförmigen Carbonbewehrungen. Herausgeber sind Organisationen wie die Japan Society of Civil Engineers (JSCE), die Canadian Society of Civil Engineers (CSCE), die Institution of Structural Engineers (IStructE), das American Concrete Institute (ACI) und die Fédération internationale du béton (fib). Im deutschen Raum existieren zurzeit keine allgemein gültigen Richtlinien zur Bemessung von Carbonbeton – jedoch erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen. Als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Normen und Richtlinien in den kommenden Jahren dienen die für Stahlbeton gültigen Normen (DIN bzw. EN).

► Recycling

Beim Recycling sind Beton und Carbonbewehrung getrennt zu betrachten. Zum Recycling von Beton gibt es im Bauwesen zahlreiche Ansätze, die auch bereits in der Praxis angewendet werden. Das Recycling von Carbon betrifft bisher in erster Linie die Luftfahrt- und Autoindustrie, aber u. a. auch die Sportartikelbranche, bei denen schon seit Jahren oder Jahrzehnten Carbon zum Einsatz kommt. Die Carbonreste und -abfälle werden meist zu Vliesstoffen oder Kurzfasern verarbeitet. Dies ist jedoch noch nicht zufriedenstellend. Aktueller Schwerpunkt der Forschung ist daher die Rückgewinnung von möglichst langen Garnen und die Fertigung von wiederverwendbaren Endlosfasern aus den Carbonresten und -abfällen. Die Forschungsvorhaben im Rahmen des C³-Projekts beschäftigen sich vorrangig mit der sauberen Trennung von Carbon und Beton.

► Ökobilanzen

Bisher liegen für die ökologische Einschätzung der Carbonbetonbauweise nur sehr wenige Daten vor. Aber bereits diese wenigen Daten lassen eine, im Vergleich zum Stahlbeton, deutlich günstigere Bilanz erwarten. In aktuell laufenden

textile and bar-shaped carbon reinforcements on an international level. The publishers are organisations such as the Japan Society of Civil Engineers (JSCE), the Canadian Society of Civil Engineers (CSCE), the Institution of Structural Engineers (IStructE), the American Concrete Institute (ACI) and the Fédération internationale du béton (fib). At the moment, there are no generally applicable guidelines for the design of carbon concrete members in Germany, only first official building approvals. The starting point for the development of norms and directives in the following years will be the existing standards for steel reinforced concrete (DIN or rather EN).

► Recycling

In terms of recycling, concrete and carbon reinforcement shall be considered separately. There are many concepts for the recycling of concrete in the building industry that are already being applied in practice. The recycling of carbon is so far limited to the aviation and automotive industry, but also the sporting goods industry, where carbon has been in use for years or decades. Carbon remains and waste are usually processed into non-woven fabric or short fibres. This is not yet satisfactory though. The current emphasis of research is thus the recovery of yarns, and the fabrication of reuseable filament yarns out of carbon remains and waste. The research plans within the C³ project focus mainly on the clean separation of carbon and concrete.

► Ecological assessments

There is only very little data on the ecological assessment of the carbon concrete construction so far. Even this little data however leads to expect a considerably better performance compared to reinforced concrete. In the currently ongoing research projects vast data is collected on the new concretes, the carbon reinforcement and the design and sustainability rating is carried out.

► Health and occupational safety

An important condition for the trust in carbon concrete is the consideration of safety aspects concerning the human health and the responsibility in terms of the environment. Concretes

Forschungsvorhaben werden umfangreiche Daten für die neuen Betone, die Carbonbewehrung und die Bauweise erhoben und Nachhaltigkeitsbewertungen durchgeführt.

► Gesundheit und Arbeitsschutz

Eine wichtige Voraussetzung für das Vertrauen in Carbonbeton ist die Beachtung von Sicherheitsaspekten bzgl. der menschlichen Gesundheit und der Verantwortung gegenüber der Umwelt. Betone werden schon länger diesbezüglich untersucht. In Industriezweigen, in denen bisher bereits mit Carbon gearbeitet wird, wurden bereits Untersuchungen zu Carbon und Carbon-Kunststoffverbünden durchgeführt. Aktuelle Untersuchungen am Carbonbeton zeigen, dass dieser vergleichbare Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat wie stahlbewehrter Beton. Die bisherigen Untersuchungen werden zurzeit ausgeweitet und vertieft.

► Multifunktionalität

Carbon ist elektrisch leitfähig. Untersuchungen zur Nutzung dieser Eigenschaft sind weniger bekannt. Im Bereich des Carbonbetons nutzt man bereits den elektrischen Widerstand des Carbons, um die damit in Verbindung stehende Möglichkeit einer Bauteilerwärmung zur Raumklimatisierung einsetzen zu können. Im Rahmen der Forschung wird u. a. untersucht, ob und wie das Carbon zum Monitoring bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit und Bauteilbelastung genutzt werden kann und ob auch Beleuchtungs- und Speicherfunktionen abgebildet werden können.

► Praxisprojekte

Praxisprojekte und praxisorientierte Entwicklungsprojekte veranschaulichen nicht nur die Ergebnisse der Forschung, sondern sind auch Gradmesser und Ansporn zugleich. Die Vielfalt der Praxisprojekte ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Die Anwendbarkeit für den Neubau und die Sanierung von kleinen Gebäuden, von Brücken sowie von großen Ingenieurbauwerken wie Silos wurde bereits eindrucksvoll bewiesen. In den kommenden Jahren soll anhand eines Bürogebäudes und einer Straßenbrücke gezeigt werden, dass auch große neue Bauwerke vollständig aus Carbonbeton errichtet werden können.

have been examined regarding that for a long time. Industrial sectors already using carbon have carried out research regarding carbon and carbon compounds. Current examination on carbon concrete has shown that it has comparable impact on the human health as reinforced concrete. The previous studies are currently being expanded and deepened.

► Multi-functionality

Carbon is electrically conductive. Characterization of this behaviour is part of current research. In the field of carbon concrete, we already use the electrical resistance so as to be able to apply the connected possibility of a component warming for room air-conditioning. There is research being carried out how carbon can be used for monitoring temperature, humidity and component stress and if lighting and energy storage functions can be utilized.

► Practical projects

Practical or practically oriented R&D projects illustrate not only the results of the research but are also indicators and motivation. The diversity of the practical projects has increased considerably within the last years. The applicability of carbon concrete for new constructions and the renovation of small buildings, bridges as well as large engineering structures such as silos had been impressively proven. In the upcoming years, an office building and a street bridge are supposed to show that even large scale new buildings can be constructed completely out of carbon concrete.

Textile Carbonbewehrung der Firma V.Fraas. |
Carbon grid of V. fraas GmbH
| Photo: Sven Hofmann

STATUS QUO DER AKTUELLEN VORHABEN IM C³-PROJEKT

STATUS QUO OF THE RESEARCH PROJECTS IN THE FRAME THE C³ PROJECT

Das C³-Projekt startete im Januar 2014 mit der Strategieentwicklung (Teilprojekt C3-S1), die im Juni 2015 erfolgreich abgeschlossen wurde. Bereits im November 2014 wurde dem C³-Beirat ein umfassendes Strategiekonzept übergeben, das dieser im Februar 2015 bestätigte. Darauf aufbauend wird seit Juli 2015 die strategische Ausrichtung des C³-Projektes innerhalb der Strategiefortschreibung (C3-S2) und dem Innovationsvorhaben C3-I kontinuierlich fortgeführt. Die beiden Vorhaben werden bis zum Jahr 2020 den technologischen Prozess und dessen Entwicklung dynamisch begleiten und die Richtung immer wieder anpassen bzw. vorgeben.

Parallel zu C3-S1 wurde die Phase Basistechnologien mit vier Basisvorhaben (C3-B1 bis C3-B4) initiiert, die sich mit den grundlegenden Fragestellungen zum Carbonbeton beschäftigen. Als erstes konnte im Juni 2016 das Vorhaben C3-B3 mit den Schwerpunkten Konstruktionsgrundsätze, Sicherheits- und Bemessungskonzepte sowie standardisierte Prüfmethoden abgeschlossen werden. Zudem wurde C3-B2 mit dem Themenfeld nachhaltige Bindemittel und Betone im August 2016 beendet. Das Vorhaben C3-B4, welches sich mit der Multifunktionalität von Carbonbeton näher beschäftigt, wurde im Dezember 2016 beendet, während in C3-B1 mit dem Fokus auf Beschichtungen und Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau noch bis Anfang 2017 geforscht werden wird. Die weiteren Vorhaben im C³-Projekt können auf den bereits vorliegenden sowie zeitnah noch zu erwartenden Ergebnissen aller vier Basisvorhaben aufbauen.



Die gesamten Vorhaben finden Sie unter <https://www.bauen-neu-denken.de/c3-vorhaben/>

Derzeit werden in der C³-Projektphase V1 die Grundlagen zum Abbau von Markteintrittsbarri-

The C³ project started in January 2014 with the development of its strategy (subproject C3-S1), which was successfully concluded in June 2015. In November 2014, the C³ advisory board was given a strategic concept which was confirmed in February 2015. Since July 2015, the strategic orientation of the C³ project within the strategy update (C3-S2) and the innovation plan C3-I have been continuously carried forward based on this concept. Both projects will accompany the technological process and its development dynamically, and, if necessary, will correct the direction continuously until the project's completion in 2020.

Parallel to C3-S1, the phase basic technology phases, comprised of four basic projects (C3-B1 to C3-B4) was initiated. The focus is on the fundamental questions on carbon concrete. In June 2016, the project C3-B3 with focus on construction principles, safety and measuring concepts as well as standardised testing methods could be concluded firstly. The project C3-B2, regarding sustainable binders, and concretes was completed in August 2016. The project C3-B4, which was concerned with the multi-functionality of carbon concrete, was finalized in December 2016 while C3-B1, which focused on coating and reinforcement structures for the carbon concrete construction, will be further examined until the beginning of 2017. Other projects of C³ can build on the existing as well as anticipated results of all four basic projects.



The entire projects can find you under <https://www.bauen-neu-denken.de/c3-vorhaben/>

Within the C³ project phase V1, the groundwork regarding the overcoming of market entry barriers is currently under examination. Since December 2015, the project C3-V1.1 has the

eren untersucht. Das Vorhaben C3-V1.1 verfolgt seit Dezember 2015 das Ziel, die Herstell- und Verarbeitungsprozesse für Carbonbeton bis zur Anwendungsreife zu entwickeln. Im Vorhaben C3-V1.2 werden seit Januar 2016 die Verfahrenswege und Nachweiskonzepte als Voraussetzung für Richtlinien, Normen und Zulassungen im Bereich des Neubaus und der Instandsetzung entwickelt. Weiterhin werden seit Dezember 2015 in C3-V1.3 die Expositionen untersucht, denen der Mensch bei der Verarbeitung der Carbonfasern und des Carbonbetons ausgesetzt ist. Seit März 2016 zielt C3-V1.5 darauf ab, ein Lastenheft „Herstellung“ sowie ein Lastenheft „Abbruch“ zu entwickeln und zu verifizieren. Zudem werden Ansätze für Aufbereitungstechniken und -anlagen auf die Carbonbetonbauweise abgestimmt und weiterentwickelt, um die Wiederverwendung ganzer Bauteile und den Einsatz gebrochener Stoffe als hochwertigen Rohstoffersatz sicherzustellen.

Innerhalb der Phase 4 werden individuelle Themen aufgegriffen, die innovative Ansätze bei der Verwendung von Carbonbeton verfolgen. Der Schwerpunkt liegt auf der Umsetzung eines konkreten Produktes oder einer Anwendung, die durch Carbonbeton verbessert oder völlig neu gedacht wird. In diesem Zusammenhang werden seit August 2016 im Teilvorhaben C3-V4.1 die Prozessschritte textiles Flächengebilde- und Betonbauteilherstellung zusammen betrachtet, um in erster Linie die Kosten bei der Carbonbetonfertigteilerherstellung wesentlich zu verringern. In C3-V4.2 untersucht man seit Mai 2016 das Verhalten von vorgespanntem Carbonbeton für Straßenbrücken, die einen maßgeblichen Anteil am Bauvolumen in Deutschland darstellen, und Flächentragwerke. Seit Oktober 2015 erfolgt in C3-V4.4 eine ganzheitliche Optimierung von Carbonbeton durch die Verwendung alternativer Bindemittel und leistungsfähiger Faserflächen. Zur Integration von faseroptischen Sensoren in Carbonbewehrungsstrukturen werden seit September 2015 in C3-V4.5 Dauerhaftigkeitsuntersuchungen durchgeführt und Betrachtungen zur Sicherstellung der Kompatibilität der faseroptischen Sensorauswerteeinheiten angestellt. Im Vorhaben C3-V4.11 wird seit Oktober 2016 ein technisches Informationssystem (TISC³) für die Erfassung, Strukturierung und Auswertung von projektspezifischen Forschungsergebnissen entwickelt. In dessen

aim of defining feasible production and processing methods of carbon concrete. Since January 2016, C3-V1.2 generates procedures and analysis concepts as a condition for directives, norms and admissions in the area of new construction and renovation. In addition to that, since December 2015, C3-V1.3 has researched the exposure effects in humans during the processing of carbon fibre and the carbon concrete. The target of C3-V1.5 is the creation of the specifications "production" as well as "demolition" and their verification. In addition to that, the approaches to treatment technologies and plants are being tailored to carbon concrete construction and further developed so as to ensure the reuse of complete components and the use of broken raw material as high quality substitutions for raw material.

Within phase 4, individual topics will be discussed aiming for innovative approaches to carbon concrete. The focus is on the realisation of a specific product or an application that can be improved or completely reworked by carbon concrete. Since August 2016, in this context, the part project C3-V4.1 is concerned with the joint consideration of process steps of textile fabrics and concrete component production in order to first and foremost reduce the costs of carbon concrete prefabricated parts considerably. From May 2016 onwards, C3-V4.2 has been examining the behaviour of prestressed carbon concrete for shell structures and road bridges, which have a relevant share of the construction volume in Germany. Since October 2015, C3-V4.4 has been working on an integrated optimisation of carbon concrete by the use of alternative binders and more efficient fibre surfaces. So as to integrate fibre optic sensors into carbon reinforcement structures, C3-V4.5 began in September 2015 to make durability analyses and examinations in order to ensure the compatibility of the fibre optic sensor evaluation units. Since October 2016, the project C3-V4.11 develops a technical information system (TISC³) for the collection, structuring and evaluation of project specific research results. Within this framework, the numeric simulation, that begun in C3-B3, is being continued.

Complementary, phase V-I puts new ideas or rather solutions, regarding specific and urgent issues into practice. Through the tender of so-



Der Vergleich zwischen Stahl-, Carbon- und Textilbeton: Um den Stahl vor Korrosion zu schützen, ist eine dicke Betonschicht notwendig. | Comparison between steel and textile/carbon reinforced concrete: a thick concrete cover is necessary to protect steel from corrosion. | Photo: Filmaton.tv

Rahmen wird die bereits in C3-B3 begonnene numerische Simulation fortgeführt.

Ergänzend werden in der Phase V-I neue Ideen bzw. Lösungen für spezifische, zeitlich drängende Fragestellungen umgesetzt werden. Durch die Ausschreibung der sogenannten Inventionsvorhaben (I-Vorhaben) wird den C³-Partnern die Möglichkeit gegeben, eigene Themen für die Carbonbetonbauweise einzubringen. Dabei beschäftigen sich die Partner in C3-V-I.4 seit November 2016 mit der Interaktion hochfrequentierter elektromagnetischer Strahlung, um bei der Auslegung der Carbonfaser-Bewehrung und Formgebung der Betonbauteile den Einfluss auf die Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen aufzuzeigen. Ebenfalls zum November 2016 startete C3-V-I.10 mit dem Thema Concrete Infusion Injection Prepreg. In diesem Vorhaben untersucht man die branchenübergreifende Adaption von Kenntnissen zu ausgereiften halbautomatisierten, geschlossenen Verarbeitungsverfahren aus dem Bereich der Faserverbundkunststoffe (FVK) auf die Verarbeitung von Carbonbeton.

called invention plans (I-plans) the C³ partners are enabled to introduce their own topics for carbon concrete construction. Since November 2016, the partners are concerned with the interaction of highly frequented electromagnetic radiation in order to depict the impact onto the design of the carbon fibre reinforcement and the form of the concrete components onto the interactions with electromagnetic waves in C3-V-I.4. Also in November, the project C3-V-I.10 was started, aim here the topic Concrete Infusion Injection Prepreg. This project examines the cross-sectoral adaption of existing knowledge about sophisticated semi-automated, concluded processing methods from the field of fibre composite plastics (FVK) in the production of carbon concrete.

NEUIGKEITEN AUS DEM C³-KONSORTIUM

NEWS FROM THE C³ CONSORTIUM

In der Gründungsphase des C³-Vereins belief sich die Anzahl der Mitglieder auf 40 Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Nach nur einem Jahr erfolgreicher Zusammenarbeit beteiligten sich im ersten Quartal 2015 bereits 109 Partner am C³-Projekt. Seit Oktober 2016 forscht und entwickelt nun eine vielfältige Partnerschaft von mit Stand Dezember 2016 155 Mitgliedern aus unterschiedlichen Wirtschafts- und Wissenschaftsbereichen, um den neuen Baustoff Carbonbeton bis 2020 erfolgreich in den Markt zu überführen. In diesem Jahr trafen die Vorstandsmitglieder des C³-Vereins in insgesamt fünf Vorstandssitzungen zusammen. Dabei standen insbesondere Themen der Kommunikation, der Finanzen sowie Detailfragen zur Ausgestaltung der momentan laufenden Antragsrunde auf der Agenda.

During the foundation phase of the C³ association there were 40 members, companies and research facilities. By the first quarter of 2015, after only one year of successful cooperation, already 109 partners were collaborating in the C³ project. Since October 2016 a versatile partnership of, by December 2016, 155 members from different economic and research disciplines have been researching and developing so as to bring the new construction material carbon concrete successfully into the market until 2020.

This year, the board members of the C³ association came together in total of five board meetings. They discussion especially evolved around the topics of communication, finances and details concerning the design of the current



Manfred Curbach (Mitte) im Gespräch mit den Beiratsmitgliedern Harald Budelmann (links) und Gerhard Breitschaft (rechts). | Manfred Curbach (middle) talking to the C³ advisory board members Harald Budelmann and Gerhard Breitschaft (from left to right). | Photo: C³ - Sandra Kranich

Am 8. und 9. Februar 2016 fand das dritte C³-Beiratstreffen in Dresden statt. Nach einer Besichtigung des Otto-Mohr-Laboratoriums des Instituts für Massivbau der TU Dresden und der Textilma-

ongoing application round.

On the 8th and 9th of February 2016 there was the third C³ advisory board meeting in Dresden.

schinenhalle des Instituts für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) präsentierten am Folgetag die jeweiligen Vorhabenleiter die Arbeitsstände der vier Basisvorhaben sowie der Gesamtstrategie. Die Vorhaben C3-V2 (Technologieumsetzung), C3-V-I (Inventionsvorhaben), C3-I (Invest) und C3-W (Wirtschaftlichkeit) wurden dem Beirat vor- und zur Diskussion gestellt.

Am 8. und 9. Juni 2016 fand mit reger Beteiligung die erste C³-Fachkonferenz statt. Zirka 190 Teilnehmer verfolgten die Fachvorträge über den Stand und die Ergebnisse der bereits laufenden C³-Vorhaben. In diesem Rahmen tagte am 8. Juni auch der Beirat, um wichtige Impulse bezüglich der Gesamtstrategie bis 2020 zu geben und über die Vorhaben „Cube“ und „Qualitätssicherung“ zu beraten. Ende März 2017 ist ein weiteres Beiratstreffen in Planung, um über die Vorhaben der dritten Förderphase zu beraten. Hier stehen die eingereichten Vorhabenskizzen zu den Förderlinien C3-V3 – Anwendungen –, C3-V3-I – Invention – sowie C3-V4 – Individualvorhaben – zur Diskussion.

Nachdem die Forschungsthemen mit den entsprechenden Finanzierungsplanungen weitestgehend festgelegt wurden, verschiebt sich die Arbeitstätigkeit der verschiedenen Vereinsorgane immer weiter in Richtung der Ausarbeitung einer Strategie zur Weiterführung des Netzwerks über 2020 hinaus. Mit dem Themenschwerpunkt 2020+ fand am 13. Dezember 2016 eine erste Strategieklausur statt.

DAS C³-PROJEKT IN DER ÖFFENTLICHKEIT

THE C³ PROJECT IN THE PUBLIC

Der Faktor Kommunikation spielt in Deutschlands größtem Bauforschungsprojekt eine entscheidende Rolle. Ziel einer jeden Kommunikationsmaßnahme ist, das Image des Projektes und der Carbonbetonbauweise kontinuierlich zu verbessern. Dies ist vor allem durch eine mediale Berichterstattung möglich. Im Jahr 2016 wurde insgesamt über 200 Mal, sei es in der Presse, im Fernsehen, in Rundfunk oder Web,

After visit of the Otto-Mohr-Laboratory of the Institute of Concrete Structures at the TU Dresden and the Textile Machine Hall of the Institute for Textile Machinery and High Performance Material Technology (ITM) the respective project leaders presented the current work status of the four basic projects as well as the overall strategy the following day. The projects C3-V2 (technological implementation), C3V-I (invention projects), C3-I (investment) and C3-W (economic efficiency) were introduced and put up for discussion in front of the advisory board.

On the 8th and 9th of June 2016 the first C³ symposium took place with an active participation. About 190 participants followed the specialist's lectures regarding the present state and the results of the current C³ projects. Within this framework, the advisory board met on the 8th of June in order to give important impulses regarding the overall strategy until 2020 and discuss the projects "cube" and "quality management". The next meeting is planned for end of March 2017 for guidance of the projects of the third funding phase. The submitted project outlines for the funding lines C3-V3 – applications –, C3-V3-I – inventions – as well as C3-V4 – individual initiatives – are to be discussed.

After determining the themes of research with the respective finance plannings the work of the different association organs is moving more and more towards the strategy how to carry on the network after 2020. The 13th of December 2016 the first strategy meeting focused thematically on 2020+.

Communication has a decisive role in the largest building project of Germany. Aim of a communication activity is to continuously improve the image of the project and carbon concrete construction. In particular, media coverage is a great opportunity. In 2016, there were 200 reports in the press, TV, radio or the internet. The C³ project's high media presence is due to active and targeted media work and public relations.

berichtet. Die hohe Medienpräsenz verdankt das C³-Projekt der aktiven und gezielten Presse und Öffentlichkeitsarbeit. Deren Grundlage sind relevante Inhalte und das Schaffen von Anlässen, über die es sich aus Sicht der Journalist*innen zu berichten lohnt.

Zu einem solchen Anlass gehört der bundesweite Wettbewerb „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“. Die Initiative „Deutschland – Land der Ideen“ und die Deutsche Bank zeichneten 2016 in diesem Rahmen Projekte und Ideen aus, die die Potenziale von Nachbarschaft im Sinne von Gemeinschaft, Kooperation und Vernetzung nutzen und dadurch zur Bewältigung gegenwärtiger oder künftiger gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen. Das C³-Projekt – so die Begründung – lieferte in der Kategorie Wissenschaft eine Antwort auf die Frage, wie Deutschland zum Marktführer für den Baustoff Carbonbeton werden kann – und zwar durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, die sich in dem C³-Netzwerk mit aktuell über 150 Partnern widerspiegelt. Das enorme Potenzial des Verbundstoffes Carbonbeton bewunderte auch der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, und betonte in seiner Laudatio anlässlich der Preisverleihung am 26. Juli 2016 im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden, er sei davon überzeugt, dass dies nicht der letzte Preis auf der bereits recht umfangreichen Liste von Auszeichnungen für die Carbonbeton-Technologie und das C³-Projekt sei.

The basis of public interest was the relevant content and the creation of opportunities that were interesting and newsworthy from a reporter's point of view.

One of these occasions is the federal competition „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“ („A Place of Excellence in the Land of Ideas“). In 2016 the initiative „Germany – Land of Ideas“ and the Deutsche Bank awarded projects and ideas using the potential of neighbourhood for community, cooperation and networking and thus helping to meet current and future challenges of society. The C³ project – according to the justification – provided the answer in the field of science how Germany can become the market leader in terms of carbon concrete, namely by the interdisciplinary cooperation of science and economy currently reflecting in the more than 150 partners of the C³-network. The enormous potential of the composite material carbon concrete was also recognized by the rector of the TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen. He stressed in his laudation during the award ceremony on the 26th of July 2016 in the Otto Mohr Laboratory of the TU Dresden, that he was convinced that this would not remain the last prize on the already remarkable list of awards for the carbon concrete technology and the C³ project.

Two months later the carbon scientists Manfred Curbach (Director of the Institute for Concrete Structures), Chokri Cherif (Director of the



Die Verleihung des Preises „Ausgezeichneter Ort im Land der Ideen“ 2016 | Award of the prize „A Place of Excellence in the Land of Ideas“ 2016 | Photo: Frank Janowski



Zum ersten Mal in der Geschichte der Preisverleihung wurde ein Projekt aus der Baubranche prämiert (v. l. n. r. Chokri Cherif, Manfred Curbach, Joachim Gauck und Peter Offermann) | For the first time in history a project from the construction industry received the award. (from left to right: Chokri Cherif, Manfred Curbach, Joachim Gauck und Peter Offermann) | Photo: Bildschön/Deutscher Zukunftspreis

Zwei Monate später wurde dann verkündet, dass die Carbonbetonforscher Manfred Curbach (Direktor des Institutes für Massivbau), Chokri Cherif (Direktor des Institutes für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik) und sein Vorgänger, der emeritierte Professor Peter Offermann (heute Vorstandsvorsitzender des Verbandes Tudalit und Beirat im Deutsches Zentrum Textilbeton), für den Deutschen Zukunftspreis, den Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation, nominiert sind. Am 30.11.2016 gab der Bundespräsident Joachim Gauck bekannt, dass 2016 die Professoren Curbach, Cherif und Offermann die Gewinner des wichtigsten Wissenschaftspreises in Deutschland sind. Den Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, freute es besonders: „Gratulation! Das ist ein großartiger Erfolg für die drei Professoren, für die TU Dresden und auch für den Wissenschaftsstandort Dresden.“

Institute of Textile Machinery and Textile High Performance Material Technology) and his predecessor, the professor emeritus Peter Offermann (now chairman of the association Tudalit and member of the advisory board in the Deutsches Zentrum Textilbeton), were nominated for the German Future Prize, the award of the Federal President for Technology and Innovation. On the 30th of November 2016, the Federal President Joachim Gauck announced them to be the winners of the most important science prize in 2016. The headmaster of the TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, was especially pleased: "Congratulations! That is a great success for the three professors, for the TU Dresden and also for the science location Dresden. For the second time, after 2011, scientists of our university have managed to convince the top-class jury of the German Future Prize with the creation of groundbreaking innovation from an idea and

Damit gelingt es Wissenschaftlern unserer Universität nach 2011 bereits zum zweiten Mal, beginnend mit der Idee und der Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung, die Entstehung zukunftsweisender Innovation nachvollziehbar zu machen und so die hochkarätige Jury des Deutschen Zukunftspreises zu überzeugen.“

Doch nicht nur Wettbewerbe und Preise standen im Fokus der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit. Eine wichtige Grundlage, um möglichst viele Interessenten über Carbonbeton und die C³-Bauweise zu informieren, sind Veranstaltungen und das persönliche Gespräch. Im Jahr 2016 nahm C³ – Carbon Concrete Composite an knapp 70 landes- und bundesweiten Veranstaltungen teil und erzielte somit weitere Medienpräsenz. Nun folgt eine kurze Auswahl der wichtigen Events.

Die Ingenieurkammer Sachsen würdigte mit einer Ausstellung die Leistungen der sächsischen Ingenieure. Auch das C³-Projekt zählte mit dem innovativen Carbonbeton zu den Ausstellern.



Stefan Minar, Sandra Kranich und Dominik Schlüter (v. l. n. r.) präsentieren die Ausstellungsfläche von C³ – Carbon Concrete Composite im Rahmen der Ausstellung Sachsen. Land der Ingenieure | Stefan Minar, Sandra Kranich und Dominik Schlüter of C³ – Carbon Concrete Composite with carbon concrete at the exhibition Saxony. Land of Engineers (f.l.t.r.) | Photo: C³ – Carbon Concrete Composite e. V.

Die Ausstellung „Sachsen. Land der Ingenieure“ war vom 24. Mai bis 1. Juli 2016 offen für interessierte Besucher. Der Bedeutung für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung Sachsens angemessen, wurde die Ausstellung der Ingenieurskunst am Vorabend des ersten Ausstellungstages im Sächsischen Landtag u. a. vom sächsischen Innenminister Markus Ulbig eröffnet.

basic research.“ However, not only competitions and awards have been in the focus of the press work and public relations. The communications team have established an important foundation to inform as many people as possible in regard to the topic of carbon concrete and the C³ construction are events and personal meetings. In 2016, C³ – Carbon Concrete Composite participated in almost 70 statewide and national events and achieved thus further media presence. In the following, a short extract of the most important events.

The Chamber of Engineers of Saxony acknowledged the achievements of Saxon engineers with an exhibition. The C³ project formed part of this exhibition with the innovative carbon concrete. The exhibition „Sachsen. Land der Ingenieure“ (Saxony. Land of Engineers) was open to the public from the 24th of May until the 1st of July. The exhibition of the art of engineering was opened prior to the first day of exhibition among others by the Saxon Minister of the Interior Markus Ulbig.



Eröffnungsrede des sächsischen Innenministers Markus Ulbig | The Saxon Minister of the Interior Markus Ulbig during the opening speech of the exhibition Saxony. Land of Engineers where carbon concrete was strongly represented | Photo: C³ – Sandra Kranich

The Tag der Deutschen Bauindustrie (Day of the German Construction Federation) is an important annual industry get-together. Burning issues and tasks of the branch are being discussed as well as trends and new developments introduced. Of course the largest construction project of Germany could not be missing in 2016.



Der Tag der Deutschen Bauindustrie ist alljährlich ein wichtiger Branchentreff. Brennende Probleme und Aufgaben der Branche werden diskutiert sowie Trends und Neuentwicklungen vorgestellt. 2016 durfte das größte Bauforschungsprojekt Deutschlands nicht fehlen. C³ stellte sich erstmals am 2. Juni 2016 mit einem kleinen Stand vor.

Eines der wichtigsten Ereignisse war die zum ersten Mal stattfindende C³-Konferenz, die am 8. und 9. Juni 2016 in Dresden-Hellerau seitens C³ veranstaltet wurde. Carbonbetonforscher aus ganz Deutschland trafen sich in Dresden,

C³ participated on the 2nd of June 2016 with a small booth for the first time.

One of the most important events was the first C³ conference taking place on the 8th and 9th of June 2016 in Dresden-Hellerau organised by C³. Carbon concrete scientists from all of Germany met in Dresden, to further push the introduction of carbon concrete as an innovative material of the future into the market and establishing Germany as a worldwide leading supplier. The first C³ conference aimed especially for the interdisciplinary exchange of knowledge and experience as well as the further cross-linking



Die erste C³-Konferenz im Gebäudeensemble Deutsche Werkstätten Hellerau war ein voller Erfolg |
The first C³ conference in the building ensemble of the Deutsche Werkstätten Hellerau was a full success
| Photo: C³ – Sandra Kranich

um die Voraussetzungen für die Einführung von Carbonbeton als innovativen Zukunftswerkstoff in den Markt und die Etablierung Deutschlands als weltweiten Leitanbieter weiter voranzutreiben. Die erste C³-Konferenz hatte vor allem den interdisziplinären Wissens- und Erfahrungsaustausch sowie die weitere Vernetzung der 155 C³-Partner aus Wissenschaft, Unternehmen und Verbänden zum Ziel.

Vom 4. Juli bis 3. Oktober 2016 bot DRESDENconcept (DDc), der Verbund von 22 Partnern aus der Dresdner Wissenschaft und Kultur, auf dem ehrwürdigen Neumarkt in Dresden eine Novität – eine Open-Air-Wissenschaftsausstellung. Die Ausstellung präsentierte Einheimischen und Besuchern wissenschaftliche Highlights. Filme,

of the 155 C³ partners from science, companies and associations.

From the 4th of July until the 3rd of October, the DRESDENconcept (DDc), comprised of 22 partners from science and culture in Dresden, offered an open-air science exhibition to the public on the well-known Neumarkt in Dresden –. The exhibition presented scientific highlights to visitors and residents. Movies, playful elements for all age groups and texts in German and English informed about current research results of the DDc partners. The C³ project presented the composite material carbon concrete in direct comparison to reinforced concrete on an extensive exhibition set. Visitors could, for example, try and feel the difference in



Prof. Wieland Huttner, Direktor des Max-Planck-Instituts für molekulare Zellbiologie und Genetik und Vorstand bei DRESDENconcept, und Prof. Manfred Curbach gemeinsam mit Cara vor dem Aufsteller bei der Wissenschaftsausstellung auf dem Dresdner Neumarkt..., der die Vorteile von Carbonbeton visualisiert |
Prof. Wieland Huttner, Director of the Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics and part of the management board of DRESDENconcept, and Prof. Manfred Curbach together with Cara in front of the positioner at the science exhibition at the Dresden Neumarkt visualising the advantages of carbon concrete
| Photo: C³ – Rene Jungnickel

spielerische Elemente für alle Altersgruppen und Texte in Deutsch und Englisch informierten über aktuelle Forschungsergebnisse der DDc-Partner. Das C³-Projekt präsentierte den Verbundwerkstoff Carbonbeton im direkten Vergleich zum Stahlbeton auf einem großflächigen Aufsteller. Besucher konnten beispielsweise den Gewichtsunterschied zwischen einem Stahl- und Carbonstab erfühlen sowie ausprobieren, wie sich eine Carbonbewehrung anfühlt.

weight between a steel and a carbon reinforced beam and find out what a carbon reinforcement feels like.

On October the 3rd 2016, a large scale public festival takes place, every year in a different large city. In 2016, the fair was hosted in Dresden. From the 1st to the 3rd of October the "Tag der Deutschen Einheit" (Day of the Reunification) was celebrated around the Neumarkt, the Zwinger, the Semperoper and the Main Station. The motto was "Building bridges." The C³ e. V. presented itself in the tent of the federal government at the booth of the Federal Ministry for Education and Research. The

Am 3. Oktober 2016 wird alle Jahre wieder ein großes zentrales Volksfest jeweils in einer anderen großen deutschen Stadt veranstaltet. Dieses Jahr fand das Fest in Dresden statt. Vom 1. bis 3. Oktober 2016 wurde rund um Neumarkt, Zwinger, Semperoper und Hauptbahnhof unter dem Motto „Brücken bauen“ gemeinsam der Tag der Deutschen Einheit gefeiert. Der C³ e. V. präsentierte sich in diesem Rahmen im Zelt der Bundesregierung am Stand des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Den Besuchern standen C³-Partner für Fragen zum Carbonbeton zur Verfügung. Auch für den Spaßfaktor wurde gesorgt: Ein Betonkicker und eine Betonmurmelsbahn erfreuten zahlreiche



Dr. Frank Schladitz gratuliert dem Wirtschaftsminister Martin Dulig zum Sieg beim Betonkickerspiel |
Dr. Frank Schladitz congratulates to the minister of economics Martin Dulig to the victory with the concrete kicker play
| Photo: C³ – Sandra Kranich

Besucher des Volksfestes, unter anderem den sächsischen Wirtschaftsminister Martin Dulig, der sich erfolgreich in einer Kickerpartie gegen Dr. Frank Schladitz durchsetzte.

Direkt nach den Festivitäten in Dresden ging es weiter mit der internationalen Fachmesse für Immobilien und Investitionen EXPO Real in München. Vom 4. bis 6. Oktober 2016 präsentierte sich die Stadt Dresden als innovativer und attraktiver Technologie- und Immobilienstandort. Mit dabei: die C³-Forscher. Vorgestellt wurden das Projekt, der Baustoff Carbonbeton sowie dessen Zukunftsaussichten u. a. in einem Forum mit dem Titel: „Stararchitekt nutzt C³ für Zukunftsbauwerk.“ Prof. Manfred Curbach, Prof. Gunter Henn (HENN GmbH München), Roy Thyroff (Geschäftsführer von V. Fraas Solutions in Textile GmbH Helmbrechts) und Prof. Klaus Raps (CarboCon GmbH Dresden) standen Interessierten Rede und Antwort.

Das Thema Carbonbeton fand im Jahr 2016 eine recht hohe Beachtung vor allem bei den regionalen Medien. Die zahlreiche Präsenz auf wichtigen Messen und Events der Baubranche sowie zuletzt die Nominierung für den Deutschen Zukunftspreis brachten dem C³-Projekt hohe mediale Resonanz. So berichtete der MDR in den Sendungen Sachsenspiegel, LexiTV und Einfach genial über die Vorteile und Zukunftsaussichten des Materials Carbonbeton. In der ARD-Sendung Wer weiß denn sowas, in der spannende und skurrile Fragen auch aus der Wissenschaft beantwortet und mit kleinen Einspielern erläutert werden, wurde am 12. Mai 2016 folgende Frage zu C³ gestellt: „Was fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Namen C³?“ Der unter dem Künstlernamen Elton bekannte Moderator Alexander Duszat und der Schauspieler Tom Beck haben diese Frage leider falsch beantwortet und wurden mit einem kurzen Beitrag über die richtige Antwort aufgeklärt.

In direktem Zusammenhang mit der Nominierung für den Deutschen Zukunftspreis berichteten u. a. ZDF, Deutschlandfunk, Bayrischer Rundfunk, Antenne Bayern und MDR Kultur über das Forscherteam Curbach, Cherif, Offermann. Zahlreiche Printmedien von Handelsblatt über Tagesspiegel, Bild, Focus, Die Welt bis hin zu Freie Presse, Sächsische Zeitung und Dresd-

C³-partners answered questions around carbon concrete. A great deal of fun was also part of it: a concrete kicker and a concrete marble run pleased numerous visitors among others the Saxon Secretary of Commerce Martin Dulig succeeding in a table soccer game against Dr. Frank Schladitz.

Following the festivities in Dresden, the next stop was the international trade show for real estate and investments EXPO Real in Munich. From the 4th until the 6th of October 2016, the city of Dresden presented itself as an innovative and attractive location for technology and real estate. Among the exhibitors were the C³ scientists. The project, the material carbon concrete and its future prospects were introduced in a forum with the title: „Star Architect Uses C³ For Future Building.“ Prof. Manfred Curbach, Prof. Gunter Henn (HENN GmbH München), Roy Thyroff (CEO of V. Fraas Solutions in the Textile GmbH Helmbrechts) and Prof. Klaus Raps (CarboCon GmbH Dresden) answered questions of interested visitors.

In 2016, carbon concrete was an extremely well received topic especially with the local media. The good coverage of important fairs and events of the construction industry, as well as the nomination for the German Future Prize, resulted in a great response to the C³ project. The MDR reported in the shows Sachsenspiegel, LexiTV, Einfach genial on the advantages and future prospects of the material carbon concrete. The ARD-show Wer weiß denn sowas, answering fascinating and bizarre questions from science and explaining them in short videos, the following question on C³ was asked on the 12th of May 2016: „What is subsidised by the German Ministry of Education and Research under the name C³?“ The moderator Alexander Duszat known under his pseudonym Elton and the actor Tom Beck were not able to answer this question correctly and were then informed in a short contribution.

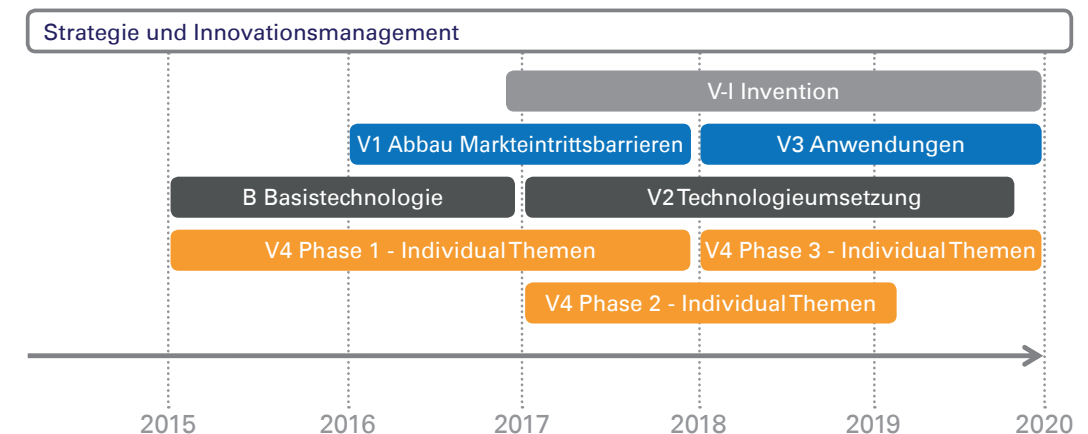
In direct relation to the nomination for the German Future Prize among others the ZDF, Deutschlandfunk, Bayrischer Rundfunk, Antenne Bayern and MDR Kultur reported on the science team Curbach, Cherif and Offermann. Numerous print media from the Handelsblatt to the Tagesspiegel, Bild, Focus, Die Welt up to the

ner Neueste Nachrichten haben ebenfalls das Thema aufgegriffen und zum Teil ausführlich darüber berichtet.

Nicht nur Wissenschaftler und Unternehmen haben die Vorteile des wunderbaren Materials Carbonbeton für sich entdeckt. Beton steht oft für hässlich, grau, klobig. Doch das hässliche Entlein mausert sich; mehr und mehr Künstler und Designer befassen sich mit dem scheinbar spröden und widerspenstigen Material, so auch die Künstlerin Amelie Marei Löllmann, die am Institut für Massivbau der TU Dresden oft Gelegenheit hatte, sich in Versuchen mit dem spröden und öden Beton zu befassen. Die Künstlerin entwickelte eine Serie von Wandarbeiten und Teppichen, die hängend oder auch liegend präsentiert werden können. Einen dieser Teppiche übergab die Künstlerin, die ihre Arbeiten auch in New York und Berlin ausstellt, im Rahmen der ersten C³-Konferenz in den denkmalgeschützten Werkstätten in Dresden-Hellerau an das Institut.

Freie Presse, Sächsische Zeitung and Dresdner Neueste Nachrichten also took up the issue and reported the topic comprehensively.

Scientists and companies are not the only one to have discovered the advantages of the wonderful material carbon concrete. For a very long time, concrete has been associated with ugly, grey and bulky terms. Now, the ugly duckling is growing into a swan. More and more artists and designers are focusing on the seemingly brittle and stubborn material. The artist Amelie Marei Löllmann, for example, had lots of opportunities to experiment with the brittle and bleak material at the Institute of Concrete Structures of the TU Dresden. She developed a series of wall works and carpets for hanging or lying. The artist exhibits her work, e.g., in New York and Berlin. One of these carpets was given to the Institute during the first C³ conference in the protected historic landmark, the Werkstätten Dresden-Hellerau (German workshops in Dresden Hellerau).



| Graphic: Sven Hofmann

► **Titel | Title**

C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von Carbon Concrete Composite – C³
C3-S2: Strategic improvement and conceptual promotion of innovations for Carbon Concrete Composite – C³

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger Jülich (PTJ)

► **Zeitraum | Period**

C³: 09.2013 – 2020
C³-S1: 01.2014 – 06.2015
C³-S2: 07.2015 – 12.2019

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Frank Schladitz; Lisa Friedrichs M.A.; Sandra Kranich M.A.; Dr.-Ing. Matthias Lieboldt; Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stefan Minar M.Sc.; Dajana Musiol M.A.; Dipl.-Sprachmittlerin Angela Reute; Dipl.-Ing. Dominik Schlüter; Jana Strauch und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Matthias Tietze

► **Projektpartner | Project partners**

C³-Konsortium, bestehend aus derzeit 155 Firmen, Verbänden und Institutionen



LEHRE

TEACHING



LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

LECTURES AT THE INSTITUTE OF CONCRETE STRUCTURES



Brückenbauexkursion 2016 | Bridge construction field trip 2016 | Photos: Oliver Steinbock

Wesentliche Aufgaben der Universität und des Instituts sind – neben der Forschung – die Ausbildung von Studentinnen und Studenten sowie die Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. In Vorlesungen, Seminaren und Übungen wird Wissen vermittelt und gefestigt. In Hausaufgaben und Belegen zeigen die Studierenden, ob sie das Gelernte anwenden können. Neben dem Wissen möchten wir auch die Faszination und Innovationskraft unseres Fachgebietes übermitteln. Wir wollen die Begeisterung der Studierenden wecken und sehen in ihnen die Botschafter, die dieses Wissen in die Praxis hinaustragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln. Besonders intensive Kontakte und kreativer Gedankenaustausch werden bei der Betreuung der Semester- und Abschlussarbeiten gepflegt, aber auch bei gemeinsamen Exkursionen.

Als Maßstab für die Qualität der Lehre sehen wir vor allem die Meinung der Studierenden. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Lernenden, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren. Besonders direkte Verbindungen pflegen wir zu den 55 studentischen Hilfskräften am Institut, die zumeist in die Forschungsarbeit eingebunden sind. Diese Tätigkeit erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte Studierende und zukünftige Ingenieurinnen und Ingenieure. Gleichzeitig fließen die Anforderungen der Bauindustrie an Hochschulabsolventinnen und -absolventen in die Lehrkonzeption ein. Viele Abschlussarbeiten werden gemeinsam mit einem Praxispartner betreut. So können wir unseren Studentinnen und Studenten einen optimalen Start ins Berufsleben ermöglichen.

Unsere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen betreuen überwiegend Lehrveranstaltungen der Diplom- und Diplomaufbaustudiengänge Bauingenieurwesen (BIW). Der Diplomstudiengang beruht auf einem 3-stufigen Curriculum aus Grund-, Grundfach- und Vertiefungsstudium und wird nach 10 Semestern Regelstudienzeit mit dem Diplom abgeschlossen. Ein Bachelorabschluss ist nur im Rahmen des Fernstudiums möglich. Das Diplomaufbaustudium beginnt im 7. Semester des grundständigen Studiengangs und ist somit vom Umfang her mit Masterstu-

Besides research, educating students and junior scientists is a major task of the university and our institute. In lectures, seminars, and tutorials, knowledge is imparted and consolidated. By completing homework and project assignments, students show that they can apply their knowledge.

More than just knowledge, we want to convey fascination for innovation in our field. We want to expand students' interests, as we see them as messengers who will apply their knowledge in practice, and refine it through scientific activities in research. Intensive contact and the creative exchange of ideas are maintained through supervision during masters' theses, project work, and field trips.

We see the students' opinions as an important benchmark for the quality of our teaching. In addition to mandatory evaluations, we seek out conversations with students to receive suggestions and critique first-hand. We keep close contact with students, especially the 55 student assistants, who are mainly involved in research. For this activity, they need sound knowledge as well as imagination and creativity, which makes it an ideal working field for motivated, talented students and future engineers. At the same time, the requirements that the construction industry has for graduates can flow into the teaching concept. Many theses are supervised by industry partners, allowing for an optimal start of a student's career.

Our faculty mainly supervise lectures for a degree known in Germany as Diplom-Ingenieur. Also, graduate and postgraduate programs in civil engineering (BIW) are offered. The Diplom-Ingenieur program is based on a 3 step curriculum, which consists of a foundation, consolidation and in-depth studies. After ten semesters, the standard period of study is completed, and a diploma and degree are granted to the student. A bachelor's degree is only offered to long distance students. The postgraduate program starts in the 7th semester, and it is a fundamental program which has a similar depth, and it is equivalent to the master's programs of other universities. It can also be completed via a distance learning program. It is special in that students also graduate with a diploma.

diengängen anderer Universitäten vergleichbar, wird aber ebenfalls mit dem Diplom abgeschlossen und kann auch als Fernstudium absolviert werden.

Darüber hinaus wird der englischsprachige Masterstudiengang *Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies (ACCESS)* angeboten. In 4 Semestern Regelstudienzeit erlangen im Durchschnitt 50 Studierende aus der ganzen Welt ihren Masterabschluss.

Überdies werden Lehrveranstaltungen für die Bachelorstudiengänge Wasserwirtschaft (BWA) und Hydrowissenschaften (BHYWI) sowie für den Master- bzw. Diplomstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (WING-MA bzw. D-WW-ING) angeboten.

Furthermore, we offer a master's program for English-speaking students, called Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies (ACCESS). After a standard study period of 4 semesters, around 50 students from all over the world graduate with a master's degree.

Also, we offer lectures in water management (BWA) and hydroscience (BHYWI) for the bachelor's program, as well as in industrial engineering (MA-WW-ING/D-WW-ING) for masters' and diploma programs.

In the following pages, we will take a short look into the lectures that were offered during the academic year 2015/2016. More detailed descriptions of the modules can be found on the institute's website <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/>, or in the respective study regulations, which are also available online.

Nachfolgend geben wir einen kurzen Einblick in die Lehrveranstaltungen des Studienjahres 2015/2016. Eine genauere Modulbeschreibung kann der Webseite unseres Institutes <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/> oder den entsprechenden, ebenfalls online verfügbaren Studienordnungen entnommen werden.

Gruppenfoto der Exkursionsteilnehmer auf der Hochmoselbrücke | Participants of the bridge construction excursion 2016 | Photo: H. Brückner



LEHRVERANSTALTUNGEN DES STUDIENJAHRES 2015/2016

► Stahlbetonbau (BIW 2-05)

Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm, Dipl.-Ing. Alexander Schumann

- ▷ **4. Semester:** 2 SWS Vorlesung
- ▷ **5. Semester:** 1 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung
- ▷ **6. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Entwurfs-, Konstruktions- und Bemessungsgrundlagen des Stahl- und Spannbetonbaus sowie die wesentlichen Modelle für den Nachweis typischer Stahl- und Spannbetonbauteile.

► Konstruktionslehre und Werkstoffmechanik im Massivbau (BIW 3-02)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

- ▷ **5. Semester:** Mauerwerksbau, 1 SWS Vorlesung
- ▷ **6. Semester:** Stahlbetonkonstruktionslehre, 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten des Tragverhaltens und der Konstruktionsweisen des Stahlbetonbaus und wesentliche Grundlagen des Mauerwerksbaus sowie dessen spezielle Bemessungs- und Konstruktionsmethoden.

► Entwurf von Massivbauwerken (BIW 4-11)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Jakob Bochmann, Dipl.-Ing. Marcus Hering, Dipl.-Ing. Matthias Quast, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Robert Schneider, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

- ▷ **7. Semester:** 2 SWS Vorlesung
- ▷ **8. Semester:** 1 SWS Vorlesung und 3 SWS Seminar

Inhalt des Moduls ist der Entwurf von Ingenieurbauwerken wie Brücken, Hochhäuser, Türme und von anderen Bauwerken unter Berücksichtigung geeigneter Konstruktionsweisen und Bautechnologien sowie deren funktionaler und gestalterischer Wirkung.

► Bauen im Bestand – Verstärken von Massivbauwerken (BIW 4-12)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Robert Schneider

- ▷ **7. Semester:** Verstärken von Massivbauwerken, 2 SWS Vorlesung
- ▷ **8. Semester:** Verstärken von Massivbauwerken, 1,5 SWS Übung
- ▷ **8. Semester:** Mess- und Versuchstechnik, 1 SWS Vorlesung und 0,5 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind Analyse und Nachrechnung sowie Instandsetzung und Verstärkung von bestehenden Massivbauwerken sowie Grundlagen der Mess- und Versuchstechnik.

► Brückenbau (BIW 4-16)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

- ▷ **7. Semester:** Massivbrückenbau, 2 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind Entwurf, Konstruktion und Berechnung von Brücken in Stahl-, Massiv- und Verbundbauweise. Im Blickpunkt stehen dabei sowohl Straßen- als auch Eisenbahn- und Gehwegbrücken.

▶ **Beton im Wasserbau und Stahlwasserbau** (BIW 4-52)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **8. Semester:** 1 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind die Betontechnik im Neuwasserbau und bei der Instandsetzung bestehender Bauwerke sowie Spezialbauwerke des Beton-, Stahlbeton- und Stahlwasserbaus.

▶ **Bauökologie – Bautechnik** (BIW 4-56)

Dr.-Ing. Kerstin Speck

▷ **7. Semester:** Nachhaltige Tragwerksplanung, 1 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten bei der nachhaltigen Bauwerksplanung hinsichtlich des Entwurfs, der Produktion, des Transports und der Montage sowie der erforderlichen ökologisch relevanten Nachweise samt Konstruktionsbeispielen.

▶ **Computational Engineering im Massivbau** (BIW 4-65)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **7. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung▷ **8. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Grundlagen der Anwendungsmöglichkeiten von numerischen und anderen rechnergestützten Verfahren im Bereich des Massivbaus wie beispielsweise die speziellen Materialeigenschaften von Beton, die Rissbildung und das Zusammenwirken von Betonstahl und Beton im Hinblick auf Modellbildung und Diskretisierung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden geeignete Verfahren zur Lösung der nichtlinearen Problemstellungen sowie die speziellen Verfahrensmerkmale und die Anwendungsmöglichkeiten anhand von typischen Beispielen. Im Blickpunkt stehen auch außergewöhnliche Beanspruchungen wie Anprall und Explosionsdrücke.

▶ **Ausgewählte Aspekte zu Diskretisierungsverfahren, CAE** (BIW 4-68)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **7. Semester:** 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die erweiterten Diskretisierungsmöglichkeiten für Problemstellungen der Kontinuumsmechanik, insbesondere die Darstellung diskontinuierlicher Felder, weiterhin die Strömungsmechanik und die Fluid-Struktur-Interaktion sowie deren Anwendungsmöglichkeiten. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Grundlagen adaptiver Diskretisierungsverfahren.

▶ **Projektarbeit** (BIW 5-01)▷ **9. Semester:** 16 Wochen Bearbeitung eines Projektes und 2 SWS Seminar

Mit der Projektarbeit soll die Fähigkeit zur Entwicklung, Durchsetzung und Präsentation von fachspezifischen Themen und Fragestellungen nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studierenden zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Das Ergebnis ist in schriftlicher Form abzugeben und mündlich in einem Kolloquium zu präsentieren.

▶ **Diplomarbeit** (BIW)▷ **10. Semester:** 4 Monate Bearbeitung der Diplomarbeit und öffentliche Verteidigung

Die Diplomarbeit soll zeigen, dass die Studentin/der Student in der Lage ist, innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem aus ihrem/seinem Fachbereich selbstständig mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Die Diplomarbeit ist der Abschluss des Studiums.

▶ **Design of Concrete Structures** (ACCESS, BIWE-01)

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dr.-Ing. Harald Michler

▷ **2nd semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

The contents of the module include design-relevant concrete properties, load-bearing behaviour under multiaxial stress, special properties of the material concrete as a basis for modeling, dimensioning methods for reinforced concrete components according to valid norms and regulations including plausibility check procedures, and special strengthening methods for concrete structures along with the relevant calculation models. Among such strengthening methods are shotcrete with steel reinforcement, FRP systems, and textile reinforced concrete.

▶ **Computational Methods for Reinforced Concrete Structures** (ACCESS, BIWE-06)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **2nd semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

The module is comprised of special numerical methods that are suitable for the calculation of reinforced concrete (RC) structures. This includes the modelling of cracking and bond behaviour of RC, special non-linear calculation methods, the load bearing behaviour of cracked steel reinforced concrete elements, numerical methods for truss models, multiaxial constitutive laws for concrete, finite elements for structural members made of RC, in particular for shear walls and slabs.

▶ **Cable Stayed Bridges** (ACCESS, BIWE-11)Prof. Dipl.-Ing. Holger Svensson*, Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann*,
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi▷ **2nd semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

The scope of the module includes the analysis of the loads acting on cable-stayed bridges as well as the dimensioning, dynamics, production and installation of load-bearing cables, the design of concrete and steel crossbeams, towers, and bridge girders. In such analysis, the nonlinear theory and the aerodynamic stability of the cables, stiffening beams is taking into account. The design and dimensioning of cable-stayed bridges according to Eurocode, and selected construction details for reinforced concrete, steel and steel composite structures are presented.

**This module is offered in cooperation with Prof. Dipl.-Ing. Holger Svensson (Honorary Professor) and the Chair of Steel Construction, Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann.*

► **Practice-oriented Project Work** (ACCESS BIWO-08)

▷ **3rd semester:** 16 weeks working on a project and 4 seminar hours

The goal of the project work is to demonstrate the student's ability to develop, implement and present subject-specific topics and questions based on specific tasks of civil engineering, materials science, and computer-oriented mechanics. Students should show that they can define goals on a larger task, as well as elaborate interdisciplinary approaches and concepts. The results shall be given and presented in written form.

► **Master's Thesis** (ACCESS BIWO-09)

▷ **4th semester:** 4 months working on a Master's Thesis and a public defence

The master's thesis is intended to show that the student is able to work on a problem within his or her subject independently and according to scientific methods. Therefore, the master's thesis is the completion of the studies.

► **Grundlagen des Stahlbetonbaus** (BWA 14, BHYWI68, MA-WW-ING-0113, D-WW-ING-0113)

Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dipl.-Ing. Angela Schmidt

▷ **1 Semester:** 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Das Modul bietet eine Einführung in die Stahlbetonbauweise. Es werden die speziellen Baustoffeigenschaften sowie das Zusammenwirken der beiden Baustoffe Stahl und Beton im Verbund erläutert und die Grundlagen der Schnittgrößenermittlung, Bemessung und konstruktiven Durchbildung der wichtigsten Bauteile im Massivbau vermittelt.

PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

Wintersemester 2015/2016

Im 9. Semester des Diplomstudiengangs bzw. im 3. Semester des Diplom-Aufbaustudiengangs Bauingenieurwesen wird von den Studentinnen und Studenten eine Projektarbeit angefertigt. Durch die Arbeit an einem Projekt zu aktuellen fachspezifischen Themen und Fragestellungen der gewählten Vertiefung soll die Fähigkeit zur methodischen wissenschaftlichen Arbeitsweise nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studierenden zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Die während ihres Studiums erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten sind möglichst selbständig, einzeln oder im Team auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden, die Arbeitsschritte nachvollziehbar zu dokumentieren sowie die Ergebnisse im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren und zur Diskussion zu stellen.

Mit der gleichen Zielstellung und einem ähnlichen Arbeitsumfang bearbeiten die Studentinnen und Studenten des englischsprachigen Masterstudiengangs *Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies ACCESS* im 3. Semester ein anwendungsbezogenes Wissenschaftsprojekt – kurz *Project Work*.

In the 3rd semester of the MSc program ACCESS, students make a project work on a current and technical topic. In this manner, the students show their capability to work in a methodical and scientific way, and to define project goals that are feasible and within the scope of their task.

Interdisciplinary solutions and concepts are applied. The students should be aware of their knowledge and skills and be able to work in an independent manner.

At the end of the semester, the project work is presented at a colloquium, followed by an individual oral examination.

Die Fußgängerbrücke
„Grimberger Sichel“ |
Footbridge „Grimberger Sichel“
| Photo: Oliver Steinbock



Haoyang Bai**Untersuchung von leichten geschichteten Stahlbetonplatten**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen des DFG-geförderten Schwerpunktprogrammes 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ entwickelt und untersucht das Institut für Massivbau leichte, gewichts- und ressourcensparende Deckenelemente. Dazu werden verschiedene Betone sandwichartig in drei Schichten übereinander angeordnet. Die äußeren Schichten nehmen dabei die Biegemomente und die Kernschicht die einwirkenden Querkkräfte auf. Die Projektarbeit stellt die am Institut für Massivbau durchgeführten Versuche vor. Die Arbeit fasst die erforderlichen Nachweise zur Bestimmung möglicher auftretender Versagens-

arten zusammen. Neben den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgte auch die Betrachtung des ungerissenen Zustandes und des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit. Dazu stellt die Arbeit Formeln zur Berechnung der Durchbiegung im gerissenen Zustand bereit. Unter Anwendung der theoretischen Grundlagen wurden schließlich die durchgeführten Versuche an dreischichtigen Platten aus Normal- und Porenleichtbeton nachgerechnet, insgesamt 18 Platten mit 6 verschiedenen Geometrien. Die Bruchlasten der Platten mit Biegeversagen konnten vergleichsweise genau bestimmt werden, wohingegen die Vorhersage eines Fugenversagens mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Bei den Platten mit Fugenversagen wurden Abweichungen zwischen theoretischer und experimenteller Bruchlast von bis zu 50 % ermittelt.



Fugenversagen bei leichten, geschichteten Stahlbetonplatten | Foto: Michael Frenzel

Christin Huff**Verformungsberechnung textilbetonverstärkter Stahlbetonplatten**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Textilbeton wird aufgrund seiner hohen Tragfähigkeit immer häufiger für die Verstärkung von Stahlbetonbauteilen verwendet. Es wurden bereits Modelle entwickelt, mit denen die Traglast von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen unter Biegebeanspruchung vorhergesagt werden kann. Da aber auch der Gebrauchszustand

und insbesondere die Verformungsberechnung von großer Bedeutung sind, war das Ziel dieser Projektarbeit, die Durchbiegungen mit Hilfe von analytischen Gleichungen zu bestimmen. Es wurden die Verformungen von unverstärkten und verstärkten Stahlbetonplatten mit verschiedenen Methoden ermittelt. Grundlage dafür war das Biegebemessungsmodell zur Bestimmung der Tragfähigkeit. Mit diesem Verfahren konnten relevante Dehnungen bestimmt werden, auf denen wiederum die Verformungsberechnung beruht. Berechnete und experimentell ermittelte

Last-Verformungskurven wurden gegenübergestellt und verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Genauigkeit der Berechnungen maßgeblich von der Zugfestigkeit des Betons abhängt. Es ist möglich, mit Hilfe von analytischen Gleichungen gute Ergebnisse bei der Verformungsberechnung zu erzielen. Erst in dem Bereich nach dem Überschreiten der Streckgrenze kommt es zu größeren Abweichungen zwischen der Simulation und den Versuchsergebnissen.



Versuch an einer textilbetonverstärkten Platte | Foto: Otto-Mohr-Laboratorium

Hao Qin**Verformungsberechnung textilbetonverstärkter Stahlbetonplatten**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Textilbeton ist ein sehr geeignetes Material zum Verstärkten bestehender Stahlbetonplatten, da er sowohl sehr dünn und damit leichtgewichtig als auch sehr zugfest ist. Textilbeton wurde in der Vergangenheit bereits zum Verstärken von Bauwerken verwendet und kann im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung einfach für Verstärkungsmaßnahmen eingesetzt werden. Während die Tragfähigkeit textilbetonverstärkter Stahlbetonplatten einfach und sicher

bestimmt werden kann, stellt die Berechnung von Verformungen eine große Herausforderung dar. Die Projektarbeit stellt ein mögliches Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Mittendurchbiegung von textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten vor und bewertet seine Eignung, indem mehrere experimentell untersuchte Platten nachgerechnet werden. Bei den Berechnungen wurden sowohl der ungerissene als auch der gerissene Bauteilzustand berücksichtigt. Die Berechnungen erfolgten an drei verstärkten Platten unterschiedlicher Geometrie und mit verschiedenen Bewehrungsgraden. Die Berechnungen zeigen, dass die rechnerischen Verformungsverläufe qualitativ gut abgebildet werden können. Quantitativ ergeben sich jedoch gegenüber den Experimenten bis zu 30% größere Verformungen.

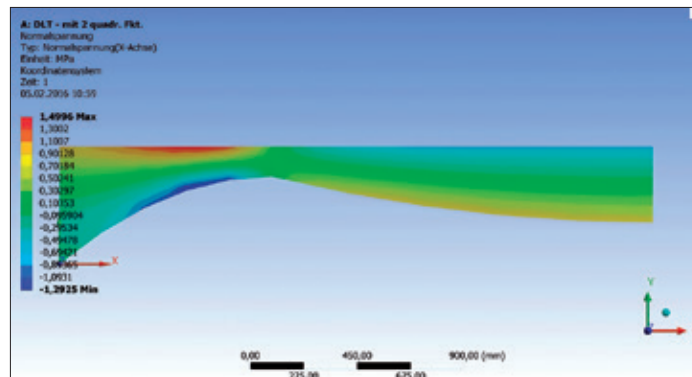
Stefan Richter

Numerische Formoptimierung geschichteter Stahlbetonelemente (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen der Projektarbeit wurde untersucht, welches Potential zur Gewichtsreduzierung für biegebeanspruchte Tragwerke besteht. Durch Verwendung von ANSYS Workbench konnten parametrisierte Modelle erstellt werden, um das Tragverhalten darzustellen. Die Erweiterung der Modelle unter Gebrauch von optiSLang ermöglichte sowohl auf geometrischer als auch auf materieller Ebene eine Optimierung der untersuchten Platten.

Der Vergleich zu herkömmlichen Tragwerken ergab eine Gewichtsverringerung von 55 bis 65 % in Abhängigkeit von den Lagerungsbedingungen. Dabei wurde der geschichtete Aufbau von Einfeldträgern und von Endlosdurchlaufträgern simuliert. Durch die Kombination von Normal- und Leichtbeton kann die Effizienz im geschichteten Aufbau gesteigert werden. Wird zusätzlich die geometrische Form des Bauteils an die Belastung angepasst, sind weitere Einsparungen möglich. Die gewonnenen Erfahrungen ergaben, dass verschiedene Optimierungsziele – insbesondere für den Sandwichaufbau – zu unterscheiden sind. Bei freier Materialwahl müssen Gewichtsoptimum und minimales Volumen abgegrenzt werden. Für fortschreitende Betrachtungen ermöglicht optiSLang die Kombination von zwei oder mehreren Zielfunktionen.



Normalspannungen in einem formoptimierten Träger (dargestellt ist eine Hälfte eines Mittelfeldes eines Durchlaufträgers)
| Grafik: Stefan Richter

Nora Boeland

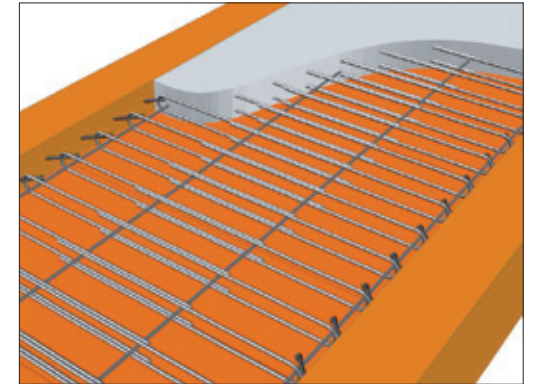
Sanierung von Holzbalkendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Michael Koban (Koban + Schuckert
Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Sanierung von Bestandsbauwerken gewinnt immer mehr an Bedeutung. Um Anforderungen an Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu

gewährleisten, ist es oftmals erforderlich, Holzbalkendecken zu verstärken. Eine wirtschaftliche Lösung stellt die Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV-Bauweise) dar. Bei dieser werden durch schubfeste Verbindungen zwischen Holzbalken und Betonplatte mehrere Anforderungen an heutige Decken erfüllt. Wird der Deckenaufbau im Vergleich zum Ausgangszustand bei einer Sanierung erhöht, kann dies jedoch zu konstruktiven Herausforderungen führen. Es besteht dann die Möglichkeit, den Beton zwischen den Holzbalken anzuordnen und über seitlich am Balken angebrachte Schubverbinder mit dem bestehenden Holzbalken zu verbinden.

In der Arbeit sind auftretende Probleme der Variante HBV-Flachdecke beschrieben und analysiert. Dazu werden die Grundlagen der HBV-Bauweise erläutert und darauf basierend wird genauer auf die HBV-Flachdecke und die auftretenden Beanspruchungen eingegangen. Die Beanspruchungen werden an einem Beispielsystem untersucht. Mithilfe verschiedener Nachweise und Versagenskriterien wird zudem eine mögliche Bewehrungsanordnung ausgearbeitet. Die Erfassung des Tragverhaltens, möglicher Versagenskriterien und Anwendungsgrenzen von HBV-Decken mit seitlich angeordneter Betonplatte ermöglichen für die Zukunft effizientere Sanierungsvarianten für die HBV-Bauweise.



Bewehrungsvorschlag HBV-Flachdecke
| Grafik: Nora Boeland

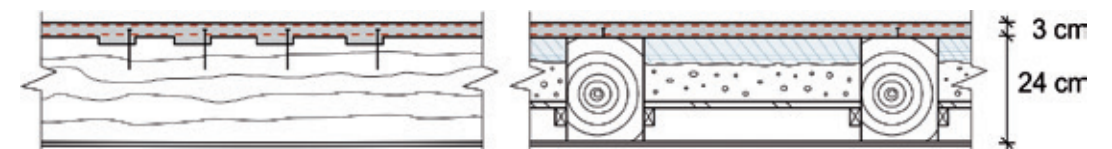
Kristina Farwig

Sanierung von Holzbalkendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Michael Koban (Koban + Schuckert
Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist als Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahme in der Altbauersanierung eine weitverbreitete Lösung. Durch die Anordnung einer Betonplatte auf den Holzbalken entsteht ein statisch effektives System, welches zudem eine wirtschaftliche Ausführung ermöglicht. Die daraus resultierende Zunahme der Gesamtaufbauhöhe kann neben den vielen Vorteilen dieser Verbindung einen entscheidenden Nachteil darstellen. Aus diesem Grund wurden in der Projektar-

beit verschiedene Ausführungsvarianten einer Holz-Beton-Verbunddecke untersucht. Im Fokus stand die Reduzierung der obenliegenden Betonplatte auf ein Minimum unter Einhaltung der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Eine große Rolle für die Tragfähigkeit der Verbindung spielt dabei die Verankerung der Verbindungsmittel im Beton. Hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit wurden die Durchbiegung sowie die Schwingungsfähigkeit der verstärkten Holzbalkendecke gesondert untersucht. Im Vergleich zu den konventionell verdübelten Verbundtragwerken wurde eine diskontinuierlich mit Schubkernen verbundene Tragkonstruktion mithilfe des Stabwerkprogramms RStab modelliert. Durch den formschlüssigen Verbund und unter Einsatz von textiler Bewehrung und hochfestem Feinbeton konnte die Tragfähigkeit einer Verbundkonstruktion mit einer 3 cm dicken Betonplatte nachgewiesen werden.



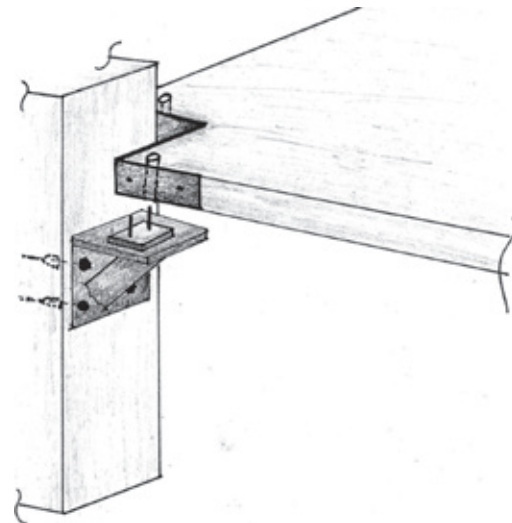
Verbindung mit Schubkernen, Längs- und Queransicht
| Grafik: Kristina Farwig

Julia Simone Fuchs**Wiederverwendbare, rezyklierbare Massivbauweise**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Schumann,
Dr.-Ing. Kerstin Speck,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Sowohl die Einsparung von Ressourcen, zum Beispiel durch den Einsatz von Carbonbeton, als auch das Bauen mit wiederverwendbaren Bauteilen wird in Zukunft unumgänglich sein, um ein nachhaltiges, umweltbewusstes Bauen sicherzustellen. Das Ziel der Projektarbeit ist die Verknüpfung dieser beiden Aufgaben zu einem ganzheitlichen Gebäudekonzept. Für die Ausarbeitung eines Konzeptes wurde ein Referenzobjekt gewählt, an dem eine detaillierte Planung der Bauteilanschlüsse sowie eine statische Vordimensionierung der tragenden Carbonbetonbauteile erfolgte. Die Wahl fiel auf ein Skelettragwerk in Fertigteilbauweise, bei dem die Deckenplatten balkenfrei auf den Stützen aufliegen. Der Anschluss einer Deckenplatte an die Stütze erfolgt über eine Stahlkonsole, die nachträglich an die Stütze befestigt und mithilfe einbetonierter Muffen darin verankert wird. Um die für die Aussteifung notwendige Scheibwirkung der Deckenplatten zu erreichen, wird in Längsrichtung eine Vorspannung ohne Verbund

angeordnet. In Querrichtung werden die Deckenelemente durch bereits bestehende Verbindungsmittel aus dem System Modula verbunden. Dadurch entsteht eine Fachwerktragwirkung, wobei Zug-, Druck- und Schubkräfte übertragen werden können. Der Einsatz von Carbonbeton erscheint unter dem Aspekt einer 'wiederverwendbaren' Bauweise richtungsweisend. Aus heutiger Sicht besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf in einigen Teilbereichen, wie in dieser Projektarbeit deutlich wurde.



Demontierbarer Anschluss einer Deckenplatte an eine Stütze
| Grafik: Julia Simone Fuchs

Carola Guggenbichler**Fassadenelement für die Sanierung „Neue Mensa“ Dresden**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Beatrice Hüttner,
Dipl.-Ing. Ralf Penzl (beide: Penzl Ingenieure,
Dresden), Dr.-Ing. Harald Michler,
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die „Neue Mensa“ in Dresden wurde 1981 eröffnet und befindet sich im Herzen des Campus der Technischen Universität Dresden. 2014 wurde die Mensa aufgrund diverser Mängel an der Bausubstanz und der Technik geschlossen

und soll saniert werden. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Entwurf und der Bemessung neuer Fassadenplatten für das Bauwerk, welche die bestehenden Elemente aus Stahlleichtbeton ersetzen sollen. Als Werkstoff soll hierbei Textilbeton dienen. Untersucht wurden drei verschiedene Varianten eines Sandwichelements mit Textilbetonvorsatzschicht und Stahlbetontragschicht und eine reine Textilbetonplatte. Da es zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für den Einsatz von Textilbeton für derartige Fassadenplatten gibt, ergeben sich diverse Problemstellungen. Vor allem der Entwurf von geeigneten Sandwichplattenankern erwies sich als schwierig, ebenso die Lastermittlung und die Vorhersage der exakten Widerstandswerte des

Textilbetons. Eine weitere Hürde stellt der Denkmalschutz dar, da die „Neue Mensa“ seit 2008 den Status des Kulturdenkmals besitzt. Die drei Sandwichvarianten und die reine Textilbeton-

fassadenplatte wurden unter diesen Aspekten dimensioniert und nachgewiesen. Anschließend wurde noch auf die Machbarkeit im Fertigteilwerk und die Montage eingegangen.



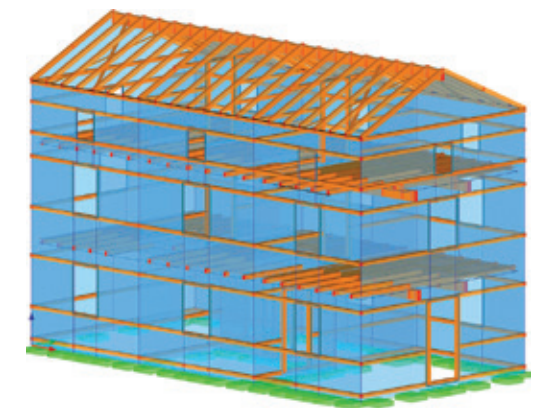
Fassade der „Neuen Mensa“ in Dresden | Foto: Kay Körner

Friederike Haux**Erdbebensichere Bauweisen für Nepal**
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Quast,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Für ein einfaches nepalesisches Haus aus Feldsteinmauerwerk mit zweieinhalb Geschossen wurden einige Möglichkeiten diskutiert, die Erdbebensicherheit zu erhöhen. Die präsentierten Verbesserungsmaßnahmen wurden auf Basis des zuvor erarbeiteten Wissens über die traditionelle Nutzung und lokale Verfügbarkeit von Baumaterialien und der Struktur eines Referenzhauses festgelegt. Es wurden ein passender Errichtungsort gewählt, optimierte Layouts entworfen und Maßnahmen bezüglich der Unterbauten, Wände, Decken und Dächer aufgezeigt. Diese beinhalten z. B. vertikale und horizontale Bewehrung aus Stahl, Holz oder Bambus, externe Bewehrung, leichtere Decken- und Dachstrukturen, verschiedene Aussteifungsoptionen und die Untersuchung unterschiedlicher Mörtel und Mauerwerkseinheiten. Aus allen vorgestellten Verstärkungsmethoden wurden einige Kombinationen gebildet, die sich hinsichtlich des genutzten Materials, des Aufwands und des Layouts unterscheiden. Durch

einen Kostenvergleich und eine erste grobe Abschätzung der Erdbebensicherheit wurden zwei Vorzugsvarianten herausgearbeitet. Um diese am Beispiel des Referenzgebäudes zu vergleichen, wurden FEM-Analysen zur Bewertung des Verhaltens bei Erdbeben durchgeführt. Dafür wurden Geometrie, Materialeigenschaften und Lasten, insbesondere die Erdbebenlasten, definiert. Für alle Modelle wurden in erster Linie die auftretenden Zugspannungen im Mauerwerk ausgewertet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Konstruktionszeichnungen für eine empfohlene Bauweise angefertigt.



Modell der Holz- und Stahlkonstruktion für ein erdbebensicheres Haus
| Grafik: Friederike Haux

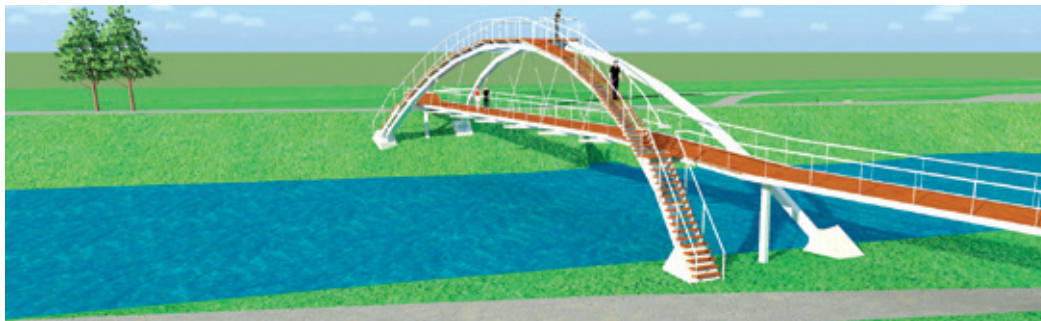
Cäcilia Karge**Entwurf und Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe in Hamm**

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen der Projektarbeit wurde die Aufgabenstellung aus dem 5. Schlaun-Wettbewerb bearbeitet – die Umgestaltung der westfälischen Stadt Hamm. Das Ziel der Teilaufgabe Bauingenieurwesen war die Verbindung der Innenstadt mit dem Erholungsgebiet Lippeaue durch die Querung des Datteln-Hamm-Kanals und der Lippe. Hierfür sollte ein elegantes Brückenbauwerk entworfen werden, welches sich gut in die Landschaft einbindet und dennoch mit ihrer prägnanten Gestaltungssprache eine

Attraktion in der Region schafft. Standort, lichte Höhen, Tragwerk und Baustoffe waren eigenständig zu wählen. Eine Analyse ergab den Standort der Brücke in der Nähe der Schleuse, welche als technische Sehenswürdigkeit in den Mittelpunkt des Betrachters rückt. Der Entwurf der Treppenbögen und die integrierte Plattform auf den Bögen über dem Kanal unterstützen den Charakter als Aussichtspunkt. Mit den Anbindungen an die bestehenden Wegenetze der Lippeaue und der Innenstadt wurde eine ideale Verbindung der beiden Gebiete erreicht. Die Uferwege sind zusätzlich durch Treppenaufgänge erreichbar. Die Stahlverbundbrücke besitzt zwei Hauptfelder. Über dem Kanal befindet sich eine Bogenbrücke mit abgehängter Fahrbahn. Die Lippe selbst wird durch eine Bogenbrücke mit aufgeständerter Fahrbahn überquert. Zusammenfassend bietet der Entwurf neue Perspektiven für das Wegenetz, vereint mit einer stilistisch attraktiven Brückenverbindung. Dafür wurde die Arbeit mit dem Brendel-Preis 2016 gewürdigt.



Ansicht des begehbaren Bogentragwerks | Grafik: Cäcilia Karge

Christopher Klimesch**Entwurf und Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe in Hamm**

(Projektarbeit)

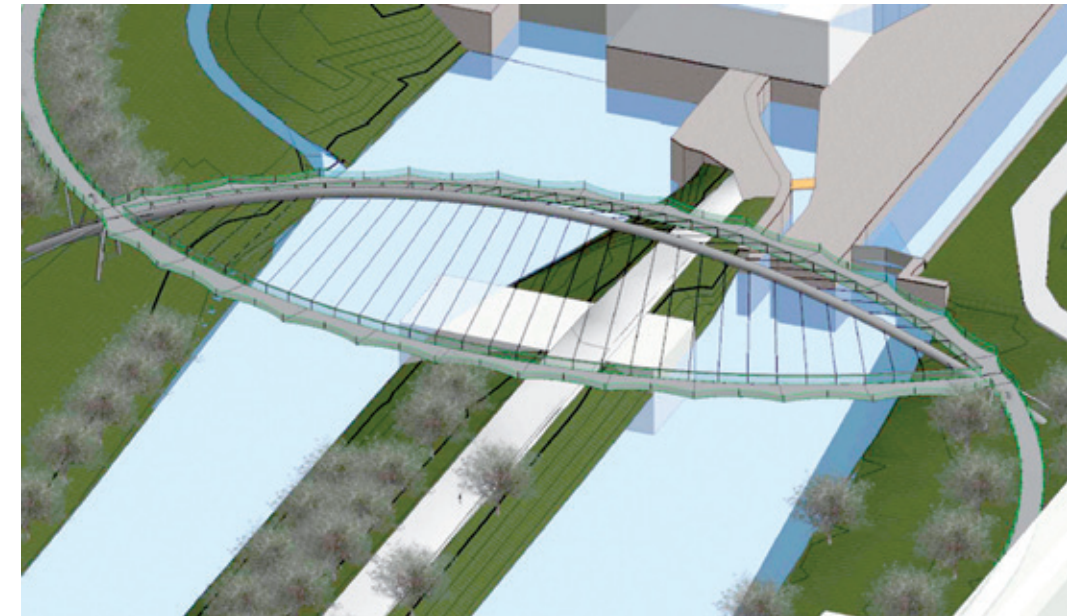
Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Gegenstand des jährlich in Nordrhein-Westfalen ausgeschrieben Schlaun-Wettbewerbs ist der

Entwurf und die Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke in der Stadt Hamm. Zielsetzung ist, die Innenstadt durch die Querung von Kanal und Lippe mit der Auenlandschaft zu verknüpfen. Gefordert wird ein Brückenbauwerk, welches sich in die Landschaft einbindet und durch eine prägnante Gestaltungssprache an einem geeigneten Standort entsprechende Impulse setzen kann. Der anhaltenden Abwanderung junger Bewohner stellt die Stadt ein Programm entgegen, was die Qualitätssteigerung als Wohnstandort vorsieht. Grundlage ist die Aufwertung vorhandener Grün- und Freiräume als Verweilplätze für alle Generationen. Dieser

Aspekt wird durch die Gestaltung der Brücke als Blatt im Entwurf aufgegriffen. Die Umsetzung erfolgt durch einen mittig angeordneten Bogen, an dem zwei in Kreisbögen geführte Fahrbahnen angeschlossen sind. Innenliegende Schrägseile dienen als Verbindung zwischen Hauptträger und

Bogen und bilden so zwei Kreisringträger. Dem Wunsch nach Aufenthaltsplätzen wird ebenfalls nachgekommen, indem der Fahrbahnquerschnitt abschnittsweise verbreitert wird und durch Sitzmöglichkeiten die Passanten zum Erkunden des Gebietes einlädt.



Gestaltung der Brücke als Blatt | Grafik: Christopher Klimesch

Johann Ludwig Lang**Entwurf und Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe in Hamm**

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Projektarbeit entstand im Rahmen des Schlaun-Wettbewerbs 2015/16. Hierfür wurde für die Stadt Hamm eine leichte Fuß- und Radbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe entworfen und bemessen. Für den Entwurf einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke ist es sehr wichtig, sich vorab mit sämtlichen Randbedingungen zu beschäftigen. Die Analyse der vorhandenen Nutzerbedürfnisse ergab, dass

sich gekrümmte Linienführungen für die drei angefertigten Entwürfe am besten eignen. Abgebildet wird der gekrümmte Überbau durch ein Kreisringträgerprinzip. Kreisringträger benötigen nur eine einseitige Stützung, um ein 'Herunterkippen' zu vermeiden. Auftretende Kreppelmomente werden durch zusätzliche Längsbiegung abgetragen, welche sich in einen Druck- und einen Zuggurt aufteilen. In der zu vertiefenden Variante, welche aus einer selbstverankernden Hängebrücke besteht, wurde das obenliegende Tragwerk mit der Software RFEM (DLUBAL) modelliert. Eine Variantenstudie lieferte eine geeignete Form zur Lastabtragung über Kreisringträger. Durch die geometrisch festgelegte Lage des Haupttragseils resultieren große Verformungen im Seil. Literaturrecherchen haben Lösungen dieses Problems aufgezeigt, die aus entsprechenden Formfindungsprozessen resultierten. Der Entwurf wurde mit dem 1. Preis im Bereich Ingenieurbau gewürdigt.



Ansicht der Kreisringträgerbrücke | Grafik: Johann Ludwig Lang

Elisabeth Plenz

Klärung der statisch-konstruktiven Rahmenbedingungen für den denkmalgerechten Umbau der Baderbrücke über die Pulsnitz in Königsbrück

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dipl.-Ing. Uwe Fischer (Ingenieurgesellschaft
Bonk + Herrmann mbH, Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bei der Baderbrücke über die Pulsnitz in Königsbrück handelt es sich um eine dreifeldrige Gewölbebrücke aus Granitbruchsteinmauerwerk aus dem Jahr 1558 mit Einzeldenkmalstatus. Im Zuge der Untersuchung des Brückenbauwerks sollten zunächst die zulässige Verkehrsbelastung

ohne lasterhöhende Maßnahmen ermittelt und die Notwendigkeit einer Umbaumaßnahme, im speziellen einer lastverteilenden Platte sowie eine Brücke-über-Brücke-Konstruktion, geprüft werden.

Auf der sicheren Seite liegend wurde mit dem statischen System des Dreigelenk-Bogens gerechnet und der Bestand in DLUBAL RFEM idealisiert als Kreisbogen modelliert. Die Nachweisführung erfolgte über die Einhaltung zulässiger Außermittigkeiten und Druckspannungen. Das Ziellastniveau der Brückenklasse 30/30 konnte bestätigt werden. Um der Forderung nach dem aktuellen Lastansatz LM 1 nach EC 1 nachzukommen, erfolgte anschließend die Modellierung der zwei Umbauvarianten. Die erforderlichen Nachweise in GZT und GZG wurden geführt. Die Ermittlung der Vorzugsvariante erfolgte anhand von zehn Kriterien, wie z. B.

Denkmalschutz, Baukosten und Dauerhaftigkeit. Die Umbauvariante unter Verwendung der lastverteilenden Platte wurde als Vorzugsvariante identifiziert. Entscheidend dafür waren die höhere Dauerhaftigkeit, die regelkonforme Ausführung, die Aufnahme des aktuellen Lastmodells sowie die Absicherung des Straßenquerschnitts gegenüber der reinen Instandsetzung. Die ermittelte Vorzugsvariante wurde in Form eines Bauwerksentwurfs vertieft.



Seitenansicht der Gewölbebrücke | Foto: Elisabeth Plenz

PROJECT WORKS

Abdul Satar Aqaie

The design of Umm Salal Stadium in Qatar

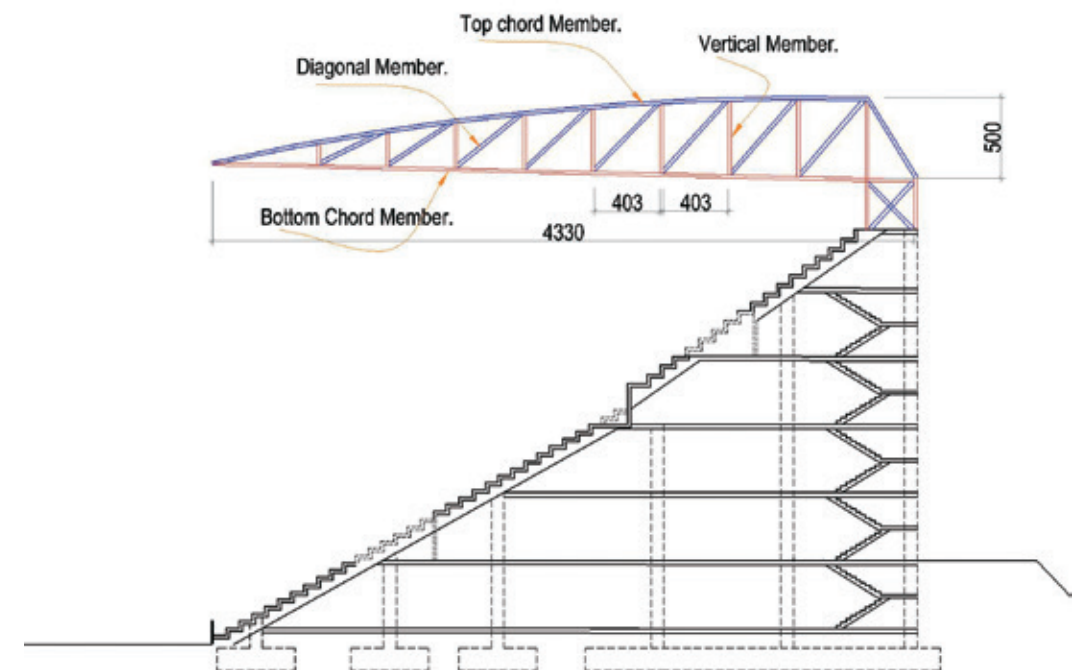
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The task of this project is the design of a new stadium, named Umm Salal, which will be located in Qatar. Some of the 2022 FIFA World Cup games will be held in this stadium. It is expected to provide facilities for about 45000 spectators, and to be designed exclusively for football matches. The floor plan design is determined by the layout of the playing field and has been designed according to FIFA guidelines. The design of the stadium's roof can be customized to implement innovative load bearing structures; therefore, the roof's design is the main focus of this project work. Three options have been considered as drafts or concept designs. Their static systems are explained by technical drawings.

In the first two options, the conceptual design of the Umm Salal Stadium includes an open pitch roof that covers only the seating area. One of them is designed with a large span truss, which is called the "king post truss"; the other, as a cantilever truss of 44 m capable of carrying the load of the roof over the tribune; this truss is connected by purlins with each other in opposite directions, and cross bracing is used as a stiffener between trusses.

The third option provides a roof over the entire pitch and tribune zones. This option is favorable, because it can be opened and closed for special purposes, e.g. to reduce the temperature and avoid wasting energy, or to shield spectators from the sun's rays. This option, while very simple in concept, is considered to be economical and better than some of the other closed roof stadiums in the world. It also has its own aesthetic and structural advantages. All three options are presented, and the last one is analyzed in detail using a design software.



Section of the stadium | Graphic: Abdul Satar Aqaie

Zhansaya Satanova**Design of a school in Dresden**

(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Matthias Quast,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The main goal of the project was to develop a structural design for a secondary school building. For this purpose, three different possible options for a school building were drafted according to the requirements of the School Association of the Free Evangelical School in Dresden. To be more precise, plans, sections, a master plan and isometric views of three alternative schools were created. Furthermore, one solution was chosen for the development of a detailed structural analysis and design. The choice was made by taking financial efficiency and the buildings' aesthetics into account.

Within the detailed design of the structure, the principal aspects described are the finite element used to model the chosen option, as well as the material properties, such as that of concrete and steel reinforcement. Also, appropriate loads and load combinations were considered. The numerical analysis, using a FE analysis software, generated the resulting global deformations of the structure and the internal force diagrams. Based on them, the design of a reinforced and prestressed concrete structure was developed and presented accordingly.



Isometric view of the school building | Graphic: Zhansaya Satanova

Megan Krishnan**Design of a school in Dresden**

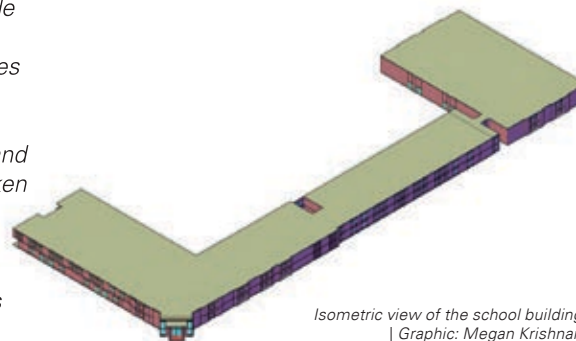
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Matthias Quast,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

School is a "Home away from Home." Schools should be more than a functional spaces, they should inspire. Schools are communities, not just buildings, so design process of schools is very important to create great learning environments.

This project outlines the design of a school building in Dresden. The first step is to decide the architectural plan of school building according to standards and building guidelines to achieve the defined level of performance aesthetically, functionally and economically. The basic safety measures, natural lighting and optimal use of energy resources are also taken into considerations to meet the expectations of owners and inhabitants. The structural analysis is the second step of the design to calculate the deflection, forces and moments generated due to dead, live,

wind, snow loads and their combinations. The moment resisting frame system with rigid connection is chosen and column locations were provided based on the architectural and structural requirements. The results of the analysis are incorporated for the design of the members. The single column, continuous beam and two-way slab are designed analytically and verified that it satisfies both Ultimate Limit State and Serviceability Limit State. The results of design of reinforced concrete structure ensures stability, strength, stiffness and overall compatibility of the detail parts of the structure.

Isometric view of the school building
| Graphic: Megan Krishnan**Khaled Alawi Gaafar Zain****Design of a school in Dresden**

(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Jakob Bochmann,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The goal of the project is to design a school in Dresden for grades 5 to 10, with four classes per grade and a maximum of 32 pupils in each classroom. The design is comprised of all necessary annexes such as laboratories, a dining hall, an assembly hall and a library. Three different architectural proposals were to be made, including an elevation and plan view of each proposed structure.

After discussing the advantages and disadvantages of each proposal, one proposal was chosen, and a detailed structural analysis and design were completed. The analysis of structural members proceeded according to Eurocode 2 and was done using the software STAAD Pro V8i. Structural members with critical or moderate values of bending moments and shear forces were designed. This allows us to examine the variation of steel reinforcement in different positions in slabs, beams, columns and footings, thereby avoiding the development of areas with high amounts of steel reinforcement where only moderate values of moments and shears exist. This maintains the economic efficiency of the structural design.

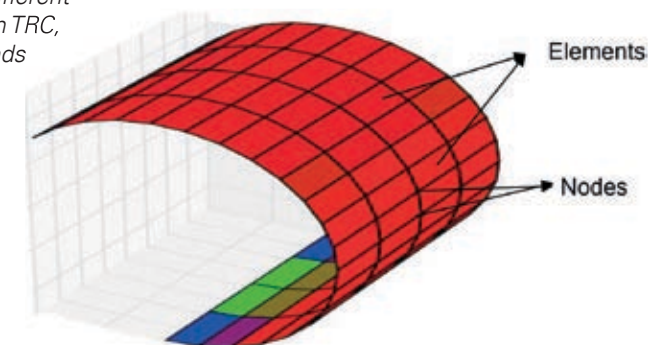
Vinay Manangi Lokeshwarappa**Analysis and assessment of a textile reinforced concrete structure**

(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

The focus of this project is mainly in the analysis and practical application of concrete structures reinforced with textile fabrics. The use of the innovative composite material is advantageous mainly because of its strength, durability, corrosion resistance and flexibility, which makes it possible to produce free forms and geometries. Regarding its structural performance, different mechanisms of bonds play a vital role in TRC, which as a building material not only finds application in new structures but also in strengthening or repairing existing reinforced concrete structures. In this project, the feasibility of constructing bus stops and pavilion structures with TRC is investigated. Elements in the shape of shells and folded plates are used to model and design such structures. Transparent polymers are employed for providing natural illumination within the structure. For the structural analysis, the loads act-

ing on the structure are considered according to Eurocode 2. Since the structure is modular, the load combinations producing the worst effects are determined by considering the different zones, topographies and terrain categories throughout Germany. The software ConFem is used for the analysis of the shell element. The analysis results are used in to determine the required area of textile reinforcement in the shell structure by considering maximum membrane and bending forces. Other structural steel components, such as columns, beams, and their connections, are designed according to the Eurocode 3.

Finite element discretization of the shell structure
| Graphic: Vinay Manangi Lokeshwarappa

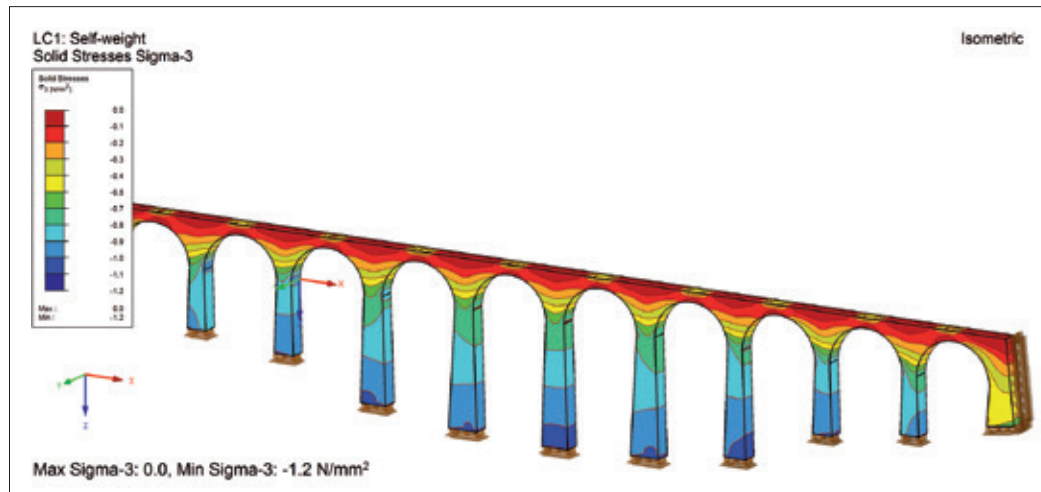
Vinod Kumar Manjunath

Recalculation of a historical masonry bridge using various methods (Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Jörg Weselek,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The load bearing capacity of the historical masonry bridge "Himbächel Viaduct" is numerically analyzed using hand calculation and the finite element method. The Himbächel Viaduct is single track railway bridge constructed using sandstone masonry. It has semi-circular arches. The bridge has a length of 250 m and a maximum height of 43 m, and it was constructed in 1881. The hand calculations are performed using the funicular polygon method combined with the method of least work. A typical, hingeless arch is analyzed using the funicular polygon method combined with method of least work, which is a graphical method. The position

of the thrust line and the stresses are calculated. The loads on the bridge are considered using current Eurocodes. Since the masonry is a heterogeneous material, computational modeling of the entire structure would lead to a high computational effort. To avoid this, the bridge is modeled assuming the average material properties of masonry. To find the average material properties, a detailed micro-modelling of a small rectangular structure is done, and the material properties are determined under the assumption that it is an orthotropic material. The live load considered on the bridge are moving loads, so the position of the load on the bridge where maximum stresses and deflections are caused is found by using a 2D model of the bridge, which reduces the computational effort. With the orthotropic material properties and the critical live load position determined, the main 3D model is analyzed using both linear and non-linear finite element analysis. The bridge is also analyzed for foundation settlement conditions. Finally, the results are evaluated.



3D stress model | Graphic: Vinod Kumar Manjunath

Bhakti Budiman Novanda

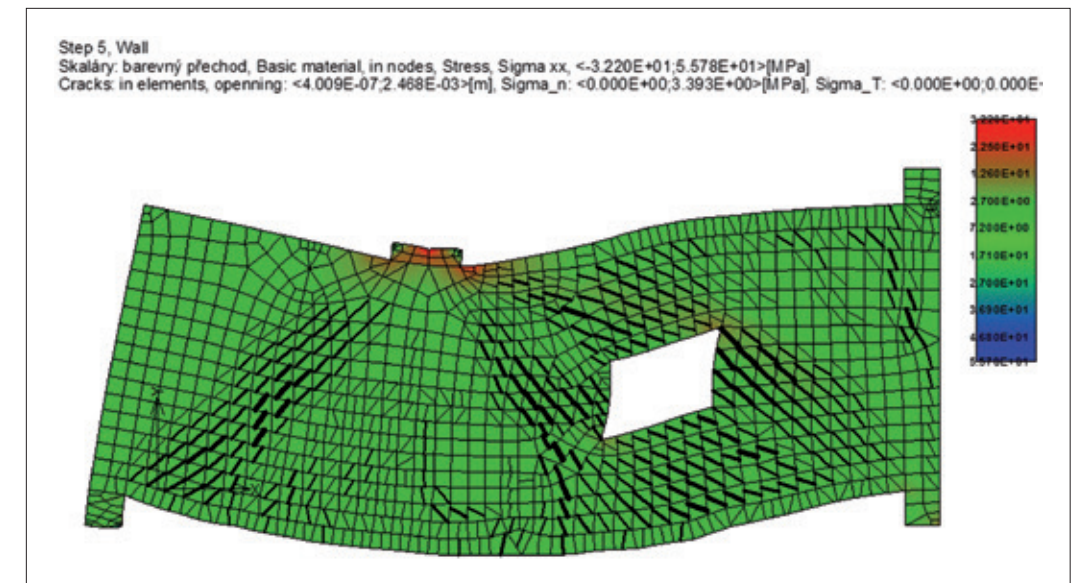
Model comparisons for a reinforced concrete deep beam (Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Jörg Weselek,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

The behavior of a shear wall subjected to a large concentrated load and distributed load is the focus of this project work. The structure has to be treated as a deep beam. The main purpose of this work is to design the reinforcement of the system and to analyze its behavior. Thus, the strut-and-tie method and a finite element

model has been used and to model the behavior of the system. During its analysis, two different software packages have been used: ConFem and ATENA. The resulting stresses are evaluated and further used to calculate the stress values of each member in the assumed strut-and-tie model. Based on this analysis, the required area and the layout of reinforcement were determined. Since the problem is considered to be nonlinear, an iterative solution is preferred, so either the Newton-Raphson with line search or the BFGS method were chosen depending on the software used. A smeared crack model is

used to model crack propagation in the system. Furthermore, this smeared crack model is suitable for finite element analysis because of it will not rearrange the system's mesh during analysis. Finally, it was verified that the reinforcement applied to the given system is enough to help the concrete support such loads. Based on the calculated crack behavior, cracks are smeared almost everywhere in the system, changing direction dependent on the principal stress direction. The results of both software concur well.



Deformed and cracked RC deep beam | Graphic: Bhakti Budiman Novanda

DIPLOM- UND BACHELORARBEITEN

Die Diplomarbeit bildet den berufsqualifizierenden Abschluss des Studienganges. In der Abschlussarbeit sollen die Studierenden an einem komplexen Ingenieurproblem die eigenständige wissenschaftlich methodische Vorgehensweise demonstrieren und somit zeigen, dass sie die für den Übergang in die Berufspraxis notwendigen gründlichen Fachkenntnisse erworben haben.

Das Fernstudium kann man außerdem mit dem Bachelorabschluss beenden. Die Bachelorarbeit soll zeigen, dass die Studierenden in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist Probleme des Studienfaches selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten.

Cevin Schütz**Versuchstechnische und rechnerische Beurteilung von vorgefertigten Deckenelementen aus textilbewehrtem Beton und Vergleich mit herkömmlichen Deckenelementen**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Textilbeton ist ein vielseitig einsetzbarer und leistungsfähiger Werkstoff. Aufgrund seiner Leichtigkeit, Materialeffizienz und Korrosionsbeständigkeit empfiehlt er sich für die Anwendung von freitragenden Bauteilen wie Deckenkonstruktionen. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein dünnwandiges Bauteil entwickelt, das die Funktion einer verlorenen Deckenschalung übernimmt. Eine Neuheit stellt dabei die Ausführungsvari-

ante mit einem Vliesstoff als Bewehrung dar. Durch Verwendung dieses Materials kann der Fertigungsprozess hinsichtlich Bauteildicke und Bewehrungsführung optimiert werden. Die Leistungsfähigkeit dieses Halbfertigteils konnte durch 6-Punkt-Biegeversuche im Otto-Mohr-Laboratorium bestätigt werden. Aus den Versuchsdaten wurden Konzepte für die Weiterentwicklung des Bauteils gewonnen. Im zweiten Teil der Arbeit wurde mithilfe von finiten Elementmodellen das Tragverhalten des Bauteils realitätsnah simuliert. Dabei wurde auf Grundlage von Dehnkörperversuchen ein Materialmodell für den Textilbetonverbund mit Vlies implementiert. Aus der Simulation konnten Schnittkräfte berechnet werden, die für eine Bemessung des Deckenelements verwendet wurden. Die Vorbemessung wurde bestätigt und es wurden Optimierungspotenziale in Hinsicht auf die verwendete Textilbewehrung offengelegt. Abschließend wurde ein Vergleich zwischen der

Textilbetondecke, der Hohlsteindecke und der Elementdecke gezogen. Dabei wurden positive und negative Aspekte der ersten Versuchsserie herausgearbeitet. Vorteile bieten sich in statischer Hinsicht durch ein vermindertes Eigengewicht und hohe Materialeffizienz. Nachteile

bestehen hingegen bei der Anpassbarkeit (Durchbrüche, Grundriss) und bei den Transportbedingungen. Weiterhin gibt es Defizite bei Schall- und Brandschutz, die auf dem Weg zur Praxisreife beachtet werden sollten.

Marco Richter**Berechnungsmodelle für Carbonbeton – Zusammenfassung international angewandeter Modelle und Vergleich mit derzeit in Deutschland für Stahlbeton benutzten Modellen**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tobias Walther,
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Einführung einer neuartigen Bewehrungsmethode mit Bewehrungsstäben und Spanngliedern aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) im Brückenbau erfordert spezielle Berechnungsmodelle, da die aus dem Stahlbetonbau bekannten aufgrund der differenzierten mechanischen Eigenschaften von CFK nicht uneingeschränkt übernommen werden können. In dieser Arbeit wird aufgezeigt, dass sich mit dem aktuellen Stand der Technik auf der Grundlage internationaler Bemessungsrichtlinien und -codes anhand von Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie von konstruktiven Empfehlungen eine Bemessung für Straßenbrücken aus Carbonbeton mit und ohne Vorspannung durchführen lässt. Die erläuterten

Brückenbeispiele mit genannter Bewehrung zeigen, dass die Bemessung sichere Ergebnisse liefert und die praktische Umsetzung möglich ist. Es wurden die Modelle für schlaffe Carbonbewehrung und für vorgespannte Konstruktionen mit interner Spanngliedlage im Verbund und externer Spanngliedlage ohne Verbund für die Bestimmung der Tragfähigkeit (Biegung, Querkraft) und der Gebrauchstauglichkeit (Durchbiegung, Beschränkung der Rissbreiten und Rissabstände, Schlankheit) erläutert. Zusätzlich wurden Hinweise zur konstruktiven Durchbildung bezüglich Betondeckung, Verankerungslänge bzw. Erzeugung künstlicher Duktilität gegeben. Auch wurde ein Prototyp einer amerikanischen Brücke mit schlaffer CFK-Bewehrung, internen Carbonkabeln im Verbund sowie externen CFK-Spanngliedern auf Biegung und Querkraft nachgerechnet. Eine besondere Herausforderung bei vorgespanntem Carbonbeton stellt die Verankerung der Spannglieder dar. Hierfür wurden bereits verwendete Systeme aus der Praxis sowie sich in der Entwicklung befindliche Verankerungstypen aufgelistet und übersichtlich dargestellt. Neben der Bewertung der möglichen Versagensfälle wurde die Tragfähigkeit der Verankerungen im Vergleich zur Festigkeit der Zuelemente näher betrachtet.

Sebastian May**Vorspannsysteme ohne Verbund im Hochbau – Gegenüberstellung und Untersuchung von Carbon- und Stahlspanngliedern**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dr.-Ing. Harald Michler,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bei Spannbetonbauteilen wird im Vergleich zur herkömmlichen Stahlbetonbauweise aufgrund der größeren Schlankheit weniger Material benötigt. Gleichzeitig können Trag- und Gebrauchseigenschaften der Konstruktion verbessert werden. Im allgemeinen Hochbau werden die Spannglieder ohne Verbund vorrangig zur Begrenzung der Verformung verwendet. Spannglieder und Lamellen aus Carbon überzeugen vor allem durch die höhere Zugfestigkeit,



Test der Deckenelemente aus betongetränkten Vliesstoffen und Carbonbeton | Foto: Michael Frenzel

die hohe Ermüdungsfestigkeit unter dynamischer Beanspruchung und die Korrosionsbeständigkeit im Vergleich zum herkömmlichen Spannstahl. Demgegenüber stehen das fehlende plastische Verhalten und die große Querkempfindlichkeit der kohlefaserverstärkten Kunststoffe.



Litze zum Vorspannen aus carbonfaserverstärktem Kunststoff
| Foto: Kerstin Speck

Peggy Socher

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit hinterlüfteter Fassadenelemente aus Faserbetonen

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Frank Schladitz, MBA,
Dr.-Ing. Frank Jesse
(Hentschke Bau GmbH, Bautzen),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Seit einigen Jahren werden Fassaden aus hochwertigem Architekturbeton verstärkt nachgefragt. Diese Nachfrage kann durch Textilbeton in unterschiedlichen Herstellungsverfahren bedient werden. Maßgeblich für eine wirtschaftliche Gesamtlösung ist eine optimierte Konstruktion und realitätsnahe Bemessung. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden Lastannahmen und einschlägige Konstruktionsregeln für Betonwerkstein, Faserbeton und Textilbeton zusammengestellt.

Patrick Eckert

Marktanalyse Carbonbeton

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Frank Schladitz, MBA,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze, M.A.,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In den Anwendungsbeispielen werden die unterschiedliche Vorgehensweise zur Bemessung von Deckenplatten mit gerader und freier Spannngliedführung ohne Verbund für Carbonlamellen und Stahllitzen nach EC 2 und der amerikanischen Richtlinie ACI 440.4R-04 gezeigt. Insbesondere wurde betrachtet, in welchen Bereichen hier noch Optimierungs- bzw. Einsparpotenzial bei Carbonspanngliedern vorhanden ist. Insbesondere die freie Spannngliedlage zeigte sich hierbei als ein interessanter Vertiefungsansatz. Abschließend wurden aktuelle Verankerungs- und Umlenkmöglichkeiten für kohlefaserverstärkte Kunststoffspannglieder und -lamellen im Bauwesen unter Berücksichtigung des Querdrucks vorgestellt.

Besonders die Einwirkungsseite wurde eingehend betrachtet und für den praktischen Einsatz leicht anwendbar aufbereitet. Die Modellierung typischer Systeme mit der Methode der finiten Elemente betrachtet die praxistaugliche Umsetzung der für die Bemessung maßgebenden punktförmigen Lagerungen. Die geeignetste Form der Modellierung wurde aufgrund von Vergleichsrechnungen und theoretischen Überlegungen ausgewählt. Mit diesem Modell durchgeführte Parameterstudien bilden die Basis für die Ableitung einer einfach handhabbaren übersichtlichen Bemessungshilfe. In der Büropraxis soll damit die technische Machbarkeit einer gewählten Geometrie unter Berücksichtigung der Einwirkungsseite (Belastung) und der Widerstandsseite (Materialkenngrößen) schnell beurteilbar werden. Die Arbeit wird durch exemplarische Dimensionierungen für typische Anwendungsfälle abgerundet.

Im Zuge der Überführung des Carbonbetons von der Forschung in die Praxis untersucht die vorliegende Diplomarbeit die erfolgversprechendsten Anwendungsgebiete und liefert eine Marktübersicht über die Betonfertigteilindustrie. Zu diesem Zweck wurde eine umfassende Literatur- und Sekundärdatenrecherche bezüglich

der aktuellen Konjunkturdaten der Bauwirtschaft sowie zum spezifischen Baustoffverbrauch im Hoch- und Tiefbau durchgeführt. Des Weiteren wurden im Rahmen einer Primärerhebung statistische Marktdaten der Betonfertigteilindustrie in Form von Experteninterviews erfasst. Diesbezüglich wurden Daten zu Unternehmensstruktur, Produktionskosten und -abläufen, zur Investitionsbereitschaft, Wirtschaftlichkeit und angestrebten Entwicklung sowie zu Trends und Prognosen erhoben. Die Auswertung hat ergeben, dass vor allem der Bereich des Wirtschaftshochbaus den größten Anteil an vorgefertigten Stahlbetonkonstruktionen aufweist und somit auch ein hohes Marktpotenzial für Carbonbeton bietet. Aus dem Sach-

verhalt heraus, dass die Carbonbetonherstellung wesentlich genauer abläuft und Betonfertigteilwerke diese Präzision bieten, wird davon ausgegangen, dass der Fertigteilbereich ein wichtiger Bereich für den Markteintritt ist. Dies gilt insbesondere für Fertigteildecken und -wände.



Wandhalbfertigteil in Carbonbetonbauweise | Foto: Matthias Tietze

Marc Haegele

Modularisierte Plattenbauweise mit Carbonbeton

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tom Sauerborn,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze, M.A.,
Dr.-Ing. Frank Schladitz, MBA,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Viele Bauherren im privaten, aber auch im wirtschaftlichen Umfeld wünschen sich eine modularisierte und flexible Bauweise. Darunter verstehen sie u. a. Bauwerke, die über ihre Lebensdauer an die aktuellen Anforderungen angepasst werden können. Dabei stellt man sich eine Art Baukasten vor, aus dem man schöpfen kann, aus dem man Gebäude – in einem gewissen Rahmen – individuell zusammenstellen, später auch verändern bzw. anpassen und am Ende der Lebenszeit einfach zurückbauen kann. Bisher gibt es zahlreiche

Bausysteme u. a. aus Holz, Stahl und Stahlbeton, die eine modularisierte Bauweise darstellen, durch welche Gebäude unterschiedlicher Art (Wohn- und Industriebauten) erstellt werden können.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden zunächst die bestehenden Systeme hinsichtlich des Lastabtrags und der Verbindungstechnik analysiert. Darauf aufbauend wurde untersucht, inwieweit bei zukünftigen Plattenbauten der Einsatz von Carbonbeton sinnvoll ist. Es wurden die Vor- und Nachteile einzelner Lösungen aufgezeigt und unter anderem Angaben zu den Elementen und Bauabläufen gemacht. Ergebnis der Analyse sind z. B. typische Grundrisse, Maßordnungen, Elementkataloge, Angaben zum Bauablauf, zur Montage und zu den verwendeten Verbindungen. Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass sich Carbonbeton für eine modularisierte Bauweise eignet. Die Verbindungsmittel müssen jedoch an die Besonderheiten von Carbonbeton angepasst oder speziell für diesen entwickelt werden.

Linqian Qi**Variantenstudie zu Deckenelementen mit Spannbewehrung aus Stahl, Carbon und Aramid**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tom Sauerborn,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Heute ist die Spannbetonbauweise mit Spannstahl auf fast allen Gebieten des konstruktiven Ingenieurbaus verbreitet. Spannstahl ist jedoch sehr korrosionsanfällig. Es ist daher sinnvoll, nach korrosionsbeständigen Materialien anstelle der Spannstähle zu suchen. Die Faserverbundkunststoffe (FVK) haben sich in erster Linie infolge ihrer hohen Zugfestigkeit und Beständigkeit gegen aggressive Medien als geeignete Ersatzmaterialien erwiesen. Durch Vorspannung kann ihre hohe Festigkeit gut ausgenutzt werden. Im Bauwesen kommen FVK-Spannglieder im Wesentlichen in vier Formen zum Einsatz: Lamel-

len, Strangschlaufen, Stäbe und Litzen, welche im Pultrusionsverfahren hergestellt werden. Aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegen Schub und Querdruck werden spezielle Verankerungssysteme genutzt.

Im Bauwesen bestehen FVK vornehmlich aus drei Fasermaterialien: Glas, Aramid und Carbonfasern (GFK, AFK und CFK). In der Diplomarbeit wurden sechs Varianten betrachtet: eine Flachdecke sowie eine Plattenbalkendecke, jeweils mit Spanngliedern ohne Verbund aus Stahl, AFK oder CFK vorgespannt. Der Vergleich ergab, dass bei der Plattenbalkendecke deutlich weniger Material benötigt wird als bei der Flachdecke. Die Decken mit den verschiedenen Spanngliedern wurden weiterhin in Bezug auf Kosten, Gewicht und Spannkraftverluste infolge Kriechens, Schwindens und Relaxation verglichen. Ergebnis ist, dass die CFK-Spannglieder im Hinblick auf die Materialeigenschaften am günstigsten sind. Im Vergleich zu den anderen beiden Spanngliedarten haben CFK-Spannglieder ein niedrigeres Gewicht bei gleicher Leistung sowie

kleinere Spannkraftverluste infolge Kriechens, Schwindens und Relaxation.



Bewehrungsstab aus Faserverbundkunststoff | Foto: Alexander Schumann

Moritz Bohlen**Berechnungsmodelle für Textilbeton – Zusammenfassung und Prüfung der Modelle inkl. Beispielanwendungen**

(Diplomarbeit)

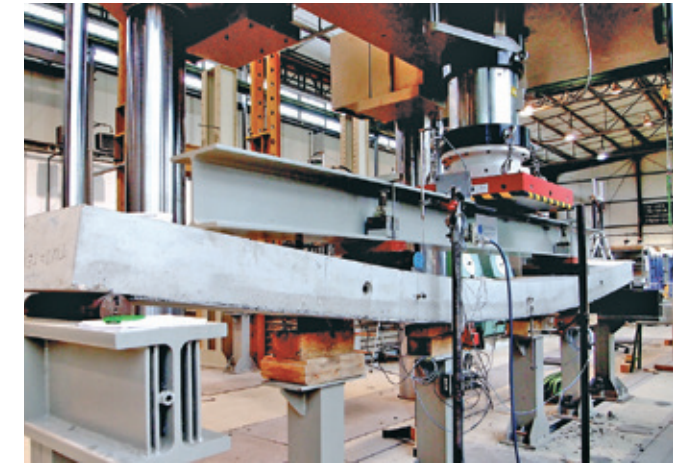
Betreuer: Dipl.-Ing. Tobias Walther,
Dipl.-Ing. Egbert Müller,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Für textilbetonverstärkte Bauteile existieren bereits verschiedene Bemessungsmodelle für den Grenzzustand der Tragfähigkeit. Dabei handelt es sich explizit um Modelle für die Beanspruchung des Bauteils auf Biegung, Querkraft, Normalkraft und Torsion. Ein Vergleich ergab, dass sich alle bisher entwickelten Modelle (teilweise mit Einschränkungen) grundsätzlich zur Bemessung von textilbetonverstärkten Bauteilen eignen, wobei

das Modell für Biegebeanspruchung die zuverlässigsten Ergebnisse liefert.

Des Weiteren wurden verschiedene Ansätze aus dem Stahlbetonbau für die Berechnung der Durchbiegung analysiert und auf ihre Übertragbarkeit auf Textilbeton untersucht. Aus den wesentlichen vier Modellen hat sich lediglich eines als geeignet erwiesen. Die Berechnung der Durchbiegung erfolgt hierbei über numerische Integration der Momenten-Krümmungs-Beziehung entlang der Bauteilachse. Eine vereinfachte Berechnung durch Ansatz des reinen Zustands I bzw. Zustands II nach dem Prinzip der virtuellen Kräfte ist beispielsweise nicht zielführend. Die Überprüfung der Modelle erfolgte durch die Nachrechnung von zwölf verstärkten Plattenstreifen unter Betrachtung des Einflusses verschiedener Parameter. Als Orientierung wurden zudem zwei unverstärkte Plattenstreifen nachgerechnet. Es wurde festgestellt, dass die über die

Momenten-Krümmungs-Beziehung berechneten Durchbiegungen der Versuchskörper um 13 bis 24 % von den gemessenen Durchbiegungen abweichen. Dies sind bereits sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Die vorliegende Arbeit trägt damit einen Teil dazu bei, die Durchbiegung von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen in Zukunft rechnerisch vorhersagen zu können und ein geeignetes Modell hierfür zu entwickeln. Der vorgeschlagene Ansatz kann als Grundlage für weitere Untersuchungen verwendet werden.



Durchbiegung eines mit Textilbeton verstärkten Stahlbetonbauteils | Foto: Tobias Walther

Camille Bertout**Optimierung einer Balkonplatte mit Carbonbewehrung**

(Diplomarbeit)

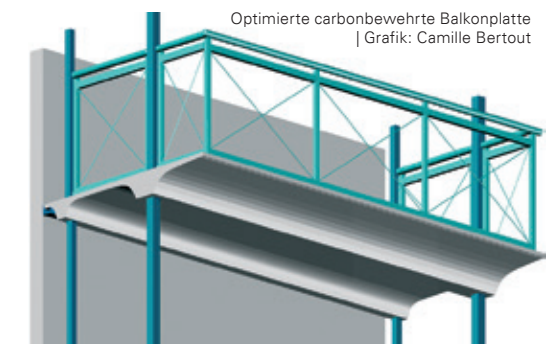
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Vorfeld dieser Diplomarbeit wurde 2011 eine Balkonplatte mit stahlbewehrten Randbalken und einem Plattenspiegel aus Textilbeton entwickelt und bis zum Bruch belastet. Die damaligen Untersuchungen hatten gezeigt, dass durch die hohe Tragfähigkeit, das geringe Gewicht und die Korrosionsunempfindlichkeit der textilen Bewehrung sehr schlanke und leichte Balkonplatten gefertigt werden können. Seit 2011 wurden textile Gelege aus Carbonrovings weiterentwickelt. Mit Zugfestigkeiten von mindestens 2000 N/mm² und Garnabständen von mehr als 30 mm können neuere Textilien auch in Normalbeton mit einem Größtkorndurchmesser von 8 mm effizient eingesetzt werden.

Ziel war es, eine herkömmliche Balkonanlage aus Stahlbetonplatten durch den Einsatz von Carbonbelegen hinsichtlich der Tragwirkung und der Ästhetik zu optimieren. Zudem sollte die Betonplatte im Gebrauchszustand ungerissen bleiben und es war ein geeignetes Entwässerungssystem vorzusehen.

Der finale Entwurf war eine Balkonplatte mit zwei Unterzügen und einem schlanken Platten-

spiegel von 3,5 bis 6,0 cm Dicke. Die trapezförmigen Unterzüge verleihen dem Plattenspiegel die benötigte Steifigkeit und liegen punktuell auf vier seitlich angeordneten Stahlstützen auf. Die Balkonplatte wurde in der Art entworfen, dass zur Reduktion der Herstellkosten lediglich eine Lage der vergleichsweise kostenintensiven Carbonbewehrung für den Plattenspiegel benötigt und für die Unterzüge Bewehrungsstahl verwendet wird. Im Vergleich zu der gewählten Referenzbalkonanlage lassen sich durch den verbesserten Entwurf mehr als 50 % Beton, 20 % Stahlbewehrung und 15 % konstruktiver Stahl sparen. Aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten für den Schalungsbau und die Carbonbewehrung werden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Massenersparnisse jedoch kompensiert, so dass die Gesamtkosten der Balkonanlage etwa denen der herkömmlichen Ausführung entsprechen.



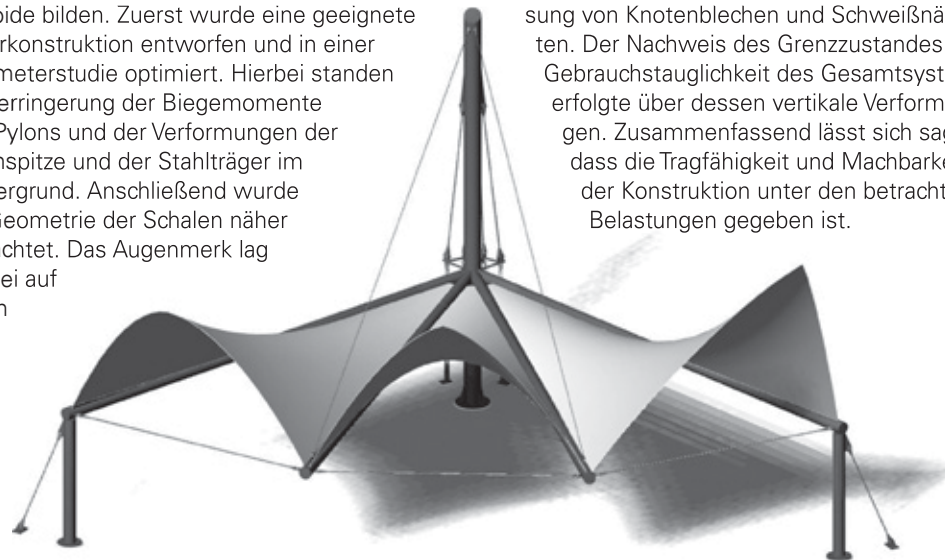
Optimierte carbonbewehrte Balkonplatte
| Grafik: Camille Bertout

Juliane Wagner**Entwurf eines Schalentragwerks aus Carbonbeton**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze,
Dipl.-Ing. Karoline Holz,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Für die Überdachung der Lagerfläche des Otto-Mohr-Laboratoriums wurde ein Schalentragwerk aus Carbonbeton entworfen. Aus mehreren Vorentwürfen wurde zunächst eine Vorzugsvariante gewählt. Diese bestand aus drei sternförmig in einem Viertelkreis angeordneten hyperbolischen Paraboloiden, die im Grundriss Deltoide bilden. Zuerst wurde eine geeignete Unterkonstruktion entworfen und in einer Parameterstudie optimiert. Hierbei standen die Verringerung der Biegemomente des Pylons und der Verformungen der Pylonspitze und der Stahlträger im Vordergrund. Anschließend wurde die Geometrie der Schalen näher betrachtet. Das Augenmerk lag hierbei auf deren



Überdachung einer Freifläche mit einer Carbonbetonschale | Grafik: Juliane Wagner

mathematischer Beschreibung und FE-Modellierung. Es wurden aber auch verschiedene Schalenkrümmungen untersucht und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Überdachung beurteilt. Die günstigste Schalengeometrie wurde anschließend in das Gesamtsystem integriert, welches anschließend verbessert und nachgewiesen wurde. Hierfür wurden vereinfachte Lastannahmen getroffen. Lediglich Belastungen aus Eigenlast und asymmetrischer Windlast fanden Berücksichtigung. Sowohl die Schale, die Seile als auch die Stahlprofile erfüllten die Nachweise der Tragfähigkeit. Um die Umsetzbarkeit des Schalentragwerks zu belegen, waren mehrere Detailnachweise zu führen. Hauptsächlich umfassten diese die Bemessung von Knotenblechen und Schweißnähten. Der Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems erfolgte über dessen vertikale Verformungen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Tragfähigkeit und Machbarkeit der Konstruktion unter den betrachteten Belastungen gegeben ist.

Stefano Chiasera**Entwurf einer freitragenden Halle**

(Diplomarbeit)

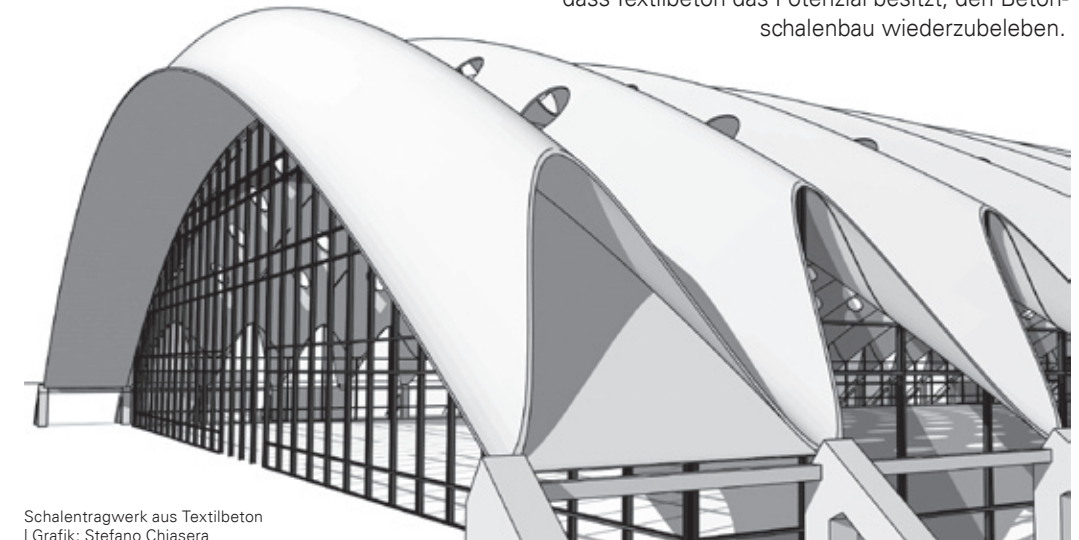
Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,
Dipl.-Ing. Egbert Müller,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Für kleinere Institute der TU Dresden war eine Verfügungshalle zu planen, die je nach Bedarf unter diesen Instituten aufgeteilt werden kann. Die Halle soll eine Gesamtfläche von 6.000 m²

stützenfrei überspannen. Das Dachtragwerk war in Textilbeton zu entwerfen. Zuerst wurden die Eigenschaften, einige bereits ausgeführte Projekte und das Potenzial des Verbundbaustoffes Textilbeton aufgezeigt. Textilbeton eignet sich besonders für Schalentragwerke, die größtenteils druckbeansprucht sind, da lediglich Mindestbewehrung erforderlich ist und die geringe erforderliche Betondeckung eine schlanke und ressourcensparende Konstruktion ermöglicht. Darüber hinaus eignet sich der Baustoff hervorragend für organisch geformte Bauteile. Für die Verfügungshalle wurden verschiedene

Tragsysteme vorgestellt, die für die Konstruktionen prinzipiell geeignet sind. Es wurden die Randbedingungen für die Entwürfe erläutert und zahlreiche Vorüberlegungen zur Form des Tragwerkes angestellt. Daraus wurden fünf verschiedene Vorentwürfe für Schalentragwerke abgeleitet und verbessert, von denen *Onda* (ital.: die Welle) als Vorzugsvariante gewählt wurde. Dafür erfolgten weitere Untersuchungen der Form, woraus ein optimierter Tragwerksentwurf entstand,

der in Abgrenzung an den Vorentwurf *Arconda* genannt wurde, eine Verschmelzung der Wörter *arco* (ital.: der Bogen) und *onda*. Für *Arconda* wurden die maßgebenden Tragelemente bemessen. Anhand der Untersuchungen entstand ein Tragwerksentwurf, dessen Machbarkeit in den maßgebenden Punkten aufgezeigt wurde. Mit dieser Diplomarbeit wurde ein Beitrag zum Entwurf weitgespannter Flächentragwerke in Textilbeton geleistet. Es konnte gezeigt werden, dass Textilbeton das Potenzial besitzt, den Schalenbau wiederzubeleben.

Schalentragwerk aus Textilbeton
| Grafik: Stefano Chiasera**Georg Bäuerle****Modularisierte Skelettbauweise mit Carbonbeton**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tom Sauerborn,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze, M.A.,
Dr.-Ing. Frank Schladitz, MBA,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Der Skelettbau mit Stahlbeton ist ein weltweit bekanntes Bausystem, vor allem für den Industriebau. Im Rahmen der Diplomarbeit war abzuschätzen, ob und wo gegebenenfalls auch der Einsatz von Carbonbeton im Skelettbau sinnvoll sein kann. Zunächst wurden bestehende Stahlbetonsysteme analysiert. Vor allem der Skelettbau in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (1950–2000) und der aktuelle Skelettbau standen im Fokus. Es wurden typische Grundrisse,

Elementkataloge, Bauabläufe, Verbindungen und Berechnungsmethoden betrachtet. Darauf aufbauend wurde abgeleitet, in welchen Bereichen der Einsatz von Carbonbeton möglich wäre und welche Vor- und Nachteile der Carbonbeton gegenüber dem Stahlbeton hat. Detailliert wurden z. B. Deckenplatten, balkenartige Träger, Plattenbalken, Stützen und tragende sowie nichttragende Wände betrachtet. Neben der Betrachtung des Gesamtsystems wurden auch einzelne Carbonbetonbauteile bemessen und Detailplanungen für diverse Verbindungen durchgeführt. Für die Entwürfe wurden zwei Tragsysteme – eine Halle und ein Bürogebäude mit Standort in Dresden – festgelegt. Dabei wurden auch Mischbauweisen aus Carbon- und Stahlbeton untersucht. Aus den drei betrachteten Entwürfen konnten allgemeine Erkenntnisse und Empfehlungen für den Einsatz von Carbonbeton im Skelettbau abgeleitet werden.

Tom Zirpel**Mitwirkende Plattenbreiten bei durchlaufenden Stahlbetonplattenbalken – Vergleich konventioneller Ansätze mit den Ergebnissen mit numerischen Berechnungen an Faltwerken**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Häufig wird das Konstruktionselement des Plattenbalkens für die Stahlbetonbauweise verwendet. Bei breiteren Platten trifft bekanntlich die Theorie des Biegebalkens nur noch eingeschränkt zu. Deshalb besteht das Konzept der mitwirkenden Plattenbreite, um auf die Biegetheorie zurückgreifen zu können. Hierfür werden sehr vereinfachte Regeln verwendet. Anhand eines konkreten Beispiels eines Zweifeldträgers mit einem Plattenbalken in Querrichtung als Mittenunterstützung wurden zunächst die konventionellen Ansätze beschrieben und beispielhaft demonstriert. Nach der Zusammenstellung der theoretischen Grundlagen wurden für diesen Zweifeldträger die

mitwirkenden Plattenbreiten nach der aktuellen Norm und anschließend mit einem FEM-Programm bestimmt. Hier ging es in erster Linie darum zu prüfen, ob die Ansätze der Norm, welche vom Einfeldträger abgeleitet sind, für den Mehrfeldträger Gültigkeit besitzen. Das System wurde im Programm ConFem modelliert. Die Modellbildung erfolgte mit Schalenelementen, da die einzelnen Elemente sowohl eine Scheiben- als auch eine Plattentragwirkung übernehmen müssen. Die Berechnung der verschiedenen Bauteilquerschnitte der Beispielsysteme ergab über die Plattenbreite veränderliche Druckspannungsverläufe, aus denen mit Hilfe der maximalen Druckspannung eine mitwirkende Plattenbreite im Sinne der Biegetheorie abgeleitet werden konnte.

Am Ende der Arbeit stand die Berechnung und Konstruktion der Bewehrung für das Beispielsystem. Dabei war vor allem dem Kreuzungsbereich von Haupt- und Querträger besondere Beachtung zu schenken. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Norm deutlich größere Werte für die mittragenden Plattenbreiten liefert als die Berechnung mit ConFem. Es ist also anzuraten, in diesem Bereich weitere Untersuchungen vorzunehmen, um die Norm realitätsnäher zu gestalten.



3D-Modell der Siloanlage
| Grafik: Carola Guggenbichler

Carola Guggenbichler**Bemessung einer Stahlbeton-Siloanlage für ein Zementwerk**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Martin Guggenbichler,
Dipl.-Ing. Josef Kirner (beide: Guggenbichler + Wagenstaller, Rosenheim), Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle (Hertle Ingenieure, Gräfelfing),
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Die Zementindustrie ist auf Siloanlagen angewiesen, um Schwankungen im Produktionsprozess auszugleichen und Material einzulagern. Ein bestehendes Zementwerk in Süddeutschland soll um eine 24.000 t fassende Siloanlage erweitert werden, welche sich aus vier zylindrischen Silokörpern zusammensetzt. Die Stahlbetonbehälter werden mit einem lichten Durchmesser von 14 m und einer Höhe von knapp 35 m geplant. Angeordnet werden die Silokörper

auf einer mehrstöckigen Stahlbetonunterkonstruktion, welche die dort installierte Fördertechnik schützen soll. Hierüber wird auch die Weiterverteilung des Zements auf LKW, welche auf vier Fahrspuren unter der Konstruktion hindurchfahren können, gewährleistet. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde neben der Herleitung der Grundlagen zu silospezifischen Lasten die Bemessung der gesamten Anlage durchgeführt. Die auf einen Zylinder wirkenden Lasten wurden hierbei nach der aktuellen Norm (DIN EN 1991-4) und in Absprache mit dem zuständigen Prüfstatiker ermittelt. Neben dem durch den Zement hervorgerufenen Silodruck

ist auch den Einwirkungen aus Temperatur und Wind eine große Bedeutung beizumessen. Zur statischen Berechnung wurde ein 3D-FEM-Modell des Silokörpers angefertigt. Ebenso wurde die mehrstöckige Unterkonstruktion als gesamtes System in dem FEM-Programm modelliert, um etwaige Wechselwirkungen der vier Silos berücksichtigen zu können. Mit den derart ermittelten Schnittgrößen konnten die tragenden Bauteile bemessen werden. Als Ergebnis wurde schließlich die konstruktive Durchbildung der gesamten Siloanlage anhand ausgewählter Detailpunkte in Bewehrungsplänen veranschaulicht.

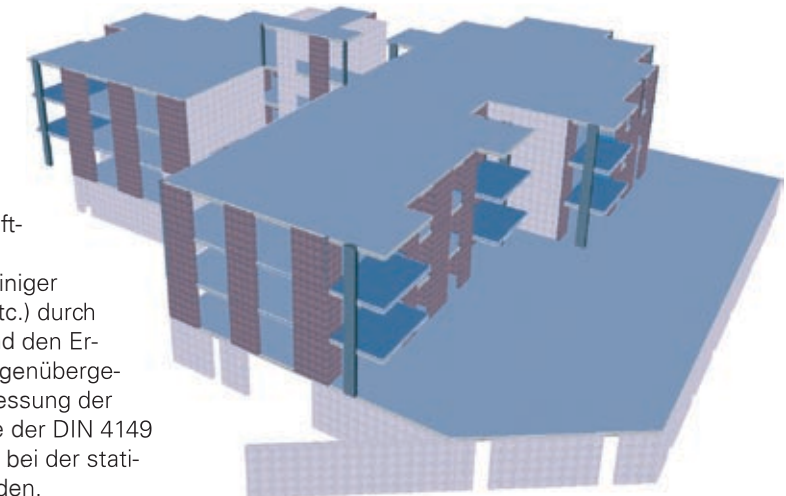
Maximilian Daum**Residenz „Scheffelvilla“ Bad Dürkheim**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Kerstin Speck,
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Lewandowski (Bernd Lewandowski Dipl.-Ing. (FH) Büro für Baustatik, Balingen-Stockhausen),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Aufgrund steigender Nachfrage auf dem heimischen Wohnungsmarkt entstehen zurzeit deutschlandweit zahlreiche Neubauprojekte. In Bad Dürkheim, Baden-Württemberg, wird eines von diesen zahlreichen Neubauten in Form eines Mehrfamilienhauses (20 Wohneinheiten) mit Tiefgarage in der Erdbebenzone I errichtet.

Aufgabe der Diplomarbeit war es, unter Betreuung des Büros für Baustatik Bernd Lewandowski, die statische Berechnung des gesamten Gebäudes vorzunehmen. Zur Anwendung kam dabei die Statiksoftware Friedrich + Lochner. Dabei wurden Plausibilitätskontrollen einiger Bauelemente (Stützen, Wände etc.) durch händische Nachweise geführt und den Ergebnissen der Statiksoftware gegenübergestellt. Dazu zählte auch die Bemessung der Erdbebenkraft, die auf Grundlage der DIN 4149 erfolgte, wobei die Hintergründe bei der statischen Bemessung erläutert wurden. Des Weiteren stand der Lastabtrag des Wohn-

gebäudes auf die Tiefgarage im Mittelpunkt dieser Diplomarbeit. Da im Vorfeld aufgrund großer Stützweiten mit hohen Durchbiegungen und Durchstanzgefahr zu rechnen war, wurden verschiedene Konzepte ausgearbeitet und beurteilt. Anhand der Untersuchungen der verschiedenen Varianten wurde sich dabei für eine konstruktive Lösung entschieden. Den Abschluss dieser Diplomarbeit bildete die Gründung des Gebäudes, da auch hier im Vorfeld bereits schwierige Bodenverhältnisse bekannt waren (Beurteilung durch das Ingenieurbüro für Geotechnik Henke und Partner, Stuttgart). Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Varianten diskutiert und eine statisch optimale Lösung für die Berechnung der Fundamente gewählt.



3D-Modell der Residenz „Scheffelvilla“ | Grafik: Maximilian Daum

Dorothee Kleinwächter**Entwicklung eines modularen Fußgängerbrückensystems für die Anwendung in Entwicklungsländern**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Quast,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein modular einsetzbares Fußgängerbrückensystem für die Anwendung in Entwicklungsländern erarbeitet, welches für die Arbeit des gemeinnützigen Vereins Ingenieure ohne Grenzen e.V. von Nutzen sein soll. Hierbei ist zu beachten, dass das Brückensystem an die besonderen Rahmenbedingungen in den meisten Entwicklungsländern angepasst ist. Aus diesem Grund wurden die so genannten Dritte-Welt-Länder auf ihre bauspezifischen Gegebenheiten hin untersucht und deren traditionelle Bauweisen und Baumaterialien erläutert. Aufgrund der Wahl von Holz als favorisiertes Konstruktionsmaterial für die Brückenentwürfe thematisiert diese Diplomarbeit auch den Schutz von Holzbauteilen. Hierbei standen die konstruktiven

Methoden im Fokus. Des Weiteren wurden alternative Holzschutzmethoden aufgegriffen und bewertet, welche in den meisten Entwicklungsländern verbreitet sind. Hinsichtlich der Realisierung des Brückenkonzeptes wird eine einfache, von den lokalen Handwerkern umsetzbare Lösung angestrebt und es wird auf traditionelle Anschlüsse und Verbindungen zurückgegriffen. Darauf basierend wurden typische und einfache zimmermannsmäßige Verbindungsmöglichkeiten präsentiert sowie deren Umsetzung in den Entwicklungsländern aufgeführt. Kernthema dieser Arbeit ist die Erstellung von drei Brückenentwürfen, welche für die drei Beispielspannweiten von 10, 15 und 20 m geeignet sind. Anhand einer detaillierten Analyse aller Brückenvarianten zeigten die Vergleiche, dass eine doppelte Hängewerkbrücke am besten als modulares Fußgängerbrückensystem für die Anwendung in Entwicklungsländern geeignet ist. Auf diese Ergebnisse aufbauend wurden die statischen Berechnungen für die doppelte Hängewerkbrücke und deren Anschlüsse durchgeführt. Damit konnte die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der Brücke nachgewiesen werden.

Randolf Holstein**Untersuchung des Interaktionsverhaltens Schiene-Bauwerk bei bestehenden Eisenbahnbrücken des Transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl,
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wirker (WKP Planungsbüro für Bauwesen GmbH, VBI, Dresden-Klotzsche),
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Der Zusammenschluss des europäischen Eisenbahnnetzes fördert den Ausbau des Hochgeschwindigkeitsverkehrs. Dessen Auswirkungen für Brücken sind bekannt: erhöhte vertikale Überbaubeschleunigungen, die im Resonanzfall bei Hochgeschwindigkeiten das Schotterbett destabilisieren und damit die Betriebssicherheit gefährden. Um diese vorherzusagen zu können, ist das genaue Wissen um

die dynamischen Eigenschaften der Brücke und des Zuges notwendig. Messungen zeigen jedoch, dass bisherige Betrachtungen nicht ausreichend genau genug waren, weil errechnete Eigenfrequenzen von den gemessenen stark abweichen. Die Gründe hierfür sind die Vernachlässigung der Einflüsse aus Steifigkeit und Dämpfung der Ausbaulasten und der Lagerung. Durch diese Fehleinschätzungen werden zu niedrige Resonanzgeschwindigkeiten und zu hohe Überbaubeschleunigungen ermittelt, wodurch irrtümlich eine Gefährdung der Schotterstabilität geschlossen wird und Brücken zum wirtschaftlichen Schaden nur noch langsam befahren, gesperrt oder abgerissen werden. Diese Arbeit enthält eine Untersuchung der dynamischen Brückeneigenschaften unter Berücksichtigung neuester veröffentlichter Arbeiten, Messungen und Laborversuche. Es werden unter Verwendung eines steifigkeitsabhängigen Verbesserungswertes und zweier stützweitenabhängiger Modelle Vergleiche zwischen Brücken unterschiedlicher Schlankheit,

Stützweite, Bauweise und zwischen verschiedenen Zügen gezogen. Allgemein erhöhen große Wagen- und Zuglängen oder schwere Radachslasten auf kurzen Brücken die Maximalwerte der Überbaubeschleunigung. Schlanke und biegeeweiche Brücken sind hierbei besonders schwingungsanfällig. Höhere Geschwin-

digkeiten sind demnach nicht zwangsläufig eine Bedrohung für die Destabilisierung des Schotterbettes, sondern es sind vor allem die Verhältnisse zwischen Oberbau und Überbau in Bezug auf Brückengewicht und -steifigkeit. Zum Schutze der Gleisstabilität kann deshalb das Schotterbett mit Harzen verklebt werden.

Josef Ephraim Buschner**Entwicklung modularer Fertigteile für Widerlagerkonstruktionen von Eisenbahnüberführungen kleinerer und mittlerer Stützweiten**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dr.-Ing. Steffen Schröder (DB Projektbau GmbH, Leipzig),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Zuge dieser Arbeit wurden wesentliche Grundlagen zur Entwicklung einer modularen Widerlagerkonstruktion herausgearbeitet. Hierzu wurden u. a. auch drei in jüngster Zeit durchgeführte Bauvorhaben im Schienenverkehrsnetz der DB vorgestellt, die sowohl die vollständige als auch teilweise Herstellung der Unterbauten in vorgefertigter Bauweise ermöglichen. Die Beschreibung von zwei durchgeführten Bauvorhaben trug wesentlich zur Entwicklung zweier voneinander vollständig verschiedener modu-

larer Systemkonzepte bei. Aufgrund der sehr komplexen und interdisziplinären Aufgabenstellung wurden in weiteren Vorüberlegungen wesentliche Zusammenhänge, die sich aus der baulichen Umsetzung eines modularen Widerlagers ergeben, konkretisiert und Festlegungen zur weiteren Vorgehensweise vorgenommen. Danach wurden beide modulare Widerlagersysteme und deren Aufbau erläutert. Ergänzend wurden zur Einschätzung des Einsatzpotentials Berechnungsstudien durchgeführt, wobei nicht nur deren Anwendungsgrenzen, sondern auch Möglichkeiten zur Optimierung der Widerlagersysteme aufgezeigt wurden. Grundsätzlich liegt unter Berücksichtigung der lastspezifischen Vorgaben aus der Aufgabenstellung das größere Einsatzpotential für die Widerlagersysteme bei der Erneuerung von Eisenbahnüberführungen über Wege. Bei Vorliegen günstiger Randbedingungen für den Entwurf und bei entsprechender Optimierung des modularen Systems können die beschriebenen Widerlagersysteme jedoch auch im Falle von zu unterführenden Straßen angewendet werden.

Elisabeth Plenz**Untersuchungen zur Standardisierung von Vorschubgerüsten der Bauart RöRo Traggerüstsysteme für den Rückbau von vorgespannten Ortbeton-Talbrücken**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dipl.-Ing. Melchior Deutscher (Ingenieurgesellschaft Bonk + Hermann mbH, Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Brückenbauten aus den Anfängen des Spannbetonbaus in den 1960er und 1970er Jahren weisen teilweise Tragfähigkeitsdefizite auf. Dies

bedingt in den nächsten Jahren den Ersatzneubau vieler Großbrücken. Für den enormen Anstieg von Rückbaumaßnahmen sind innovative Verfahren erforderlich, die die Interessen aller Beteiligten verbinden. Die Firma ThyssenKrupp Bauservice GmbH (Geschäftsbereich RöRo Traggerüstsysteme) verwendete 2011 erstmals ein Vorschubgerüst für den Rückbau einer Talbrücke. Im Zuge der Diplomarbeit wurde das System des Vorschubgerüsts für den Neubau sowie den Rückbau u. a. anhand des Bauvorhabens Lützelbachtalbrücke im Zuge der BAB A45 erläutert. Als Grundlage für die Weiterentwicklung der Bauweise wurde ein Anforderungskatalog nach Analyse von 74 Brücken abgeleitet.

Dabei ergab sowohl die reine Auswertung der Zustandsnoten 3,0 bis 4,0 (36 %) als auch die nähere Betrachtung der BAB A45 (Aufnahme von 32 Brücken auf einem Streckenabschnitt von 1,9 % des deutschen Autobahnnetzes) den Bedarf an Rückbaukonzepten und die damit verbundene Notwendigkeit zur möglichen Systematisierung. Mit der Auswertung der von RöRo bereits realisierten Projekte konnten Erfahrungen und Entwicklungen aufgezeigt

und wesentliche noch zu klärende Fragestellungen aufgeworfen werden. Abschließend wurde eine Machbarkeitsstudie für die Anwendung einer Vorschubrüstung beim Abbruch der BAB-A45-Talbrücke Landeskroner Weiher durchgeführt. Die wesentlichen Nachweise für Haupttragwerk und Vorschubgerüst waren hierbei erfüllt. Das Rückbauverfahren mittels Vorschubgerüst ist vorbehaltlich der noch zu klärenden Pfeilerproblematik für das Bauwerk geeignet.



Anwendung einer Vorschubrüstung beim Brückenabbruch der alten Lahntalbrücke | Foto: Oliver Steinbock

Carmen Hölzig

Vergleich von deutscher Nachrechnungsrichtlinie mit der LRFR der USA hinsichtlich der Tragfähigkeit von Bestandsbrücken

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Viele bestehende Verkehrsbauwerke kommen durch eine steigende Belastung, verursacht durch mehr Schwerverkehr und ein generell steigendes Verkehrsaufkommen, an die Grenzen der Belastbarkeit. Konstruktive Schwächen stellen ein zusätzliches Problem für die Tragfähigkeit bestehender Brücken-

bauwerke dar. Die technischen Regeln, nach welchen die Brücken erbaut wurden, entsprechen nicht mehr dem heutigen Standard. Dieses Problem besteht nicht nur in Deutschland. Auch in Amerika wurde dieses Problem erkannt und nach Lösungen gesucht. Beide Länder entwickelten unabhängig voneinander Richtlinien zur Nachrechnung von bestehenden Brückenbauwerken. Ziel der Arbeit war es, die Richtlinien zur Nachrechnung von bestehenden Brückenbauwerken nach der deutschen Nachrechnungsrichtlinie (NRR) und der amerikanischen LRFR (Load and Resistance Factor Rating) zu untersuchen und gegenüberzustellen. Nachdem der erste Teil der Arbeit sich mit den Grundlagen und Inhalten der Richtlinien beschäftigte, wurden die Unterschiede in dem konzeptionellen Nachrechnungsvorgang, den Lastan-

sätzen, den Lastkombinationen und den Nachweisen zusammengetragen und erläutert. Im zweiten Teil wurden anhand einer bestehenden Brücke die beiden Nachrechnungsmethoden praktisch durchgeführt. Die Nachrechnung erfolgte bis zur Stufe 2 der NRR. Das Berechnungsschema der amerikanischen Richtlinie wurde hinsichtlich der Übertragbarkeit auf deutsche Konstruktionen untersucht.

Aljoscha Metzle

Bestandsaufnahme und statische Bewertung einer historischen Stahlbetonbrücke

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Beurteilung und der Erhalt bzw. die Erhaltung des Brückenbestandes hat in den vergangenen Jahren deutlich an Bedeutung zugenommen. Im vorliegenden Fall handelte es sich um die vermutlich älteste bis vor kurzem erhaltene Stahlbetonbrücke Mitteldeutschlands. Das Bauwerk wurde im Jahr 1905 durch die Firma Pommer ausgeführt. Die Planung geht auf den Dresdner Professor und Stahlbetonpionier Willy Gehler zurück. Das Bauwerk muss aber aufgrund eines mangelnden Durchflussquerschnittes ersetzt werden. Zuvor war das Bauwerk aufgrund gravierender Schäden für den Straßenverkehr gesperrt und nur noch für Fußgänger zugänglich. Das Bauwerk überbrückt den Lockwitzbach nahe dem Bahnhof Dresden-Niedersedlitz. Es handelt sich um ein

Hierzu wurden vergleichende Untersuchungen anhand eines Trägerrostmodells durchgeführt. Hierbei zeigten sich Ansätze der amerikanischen Richtlinie, die auch bei der Nachrechnung von Brücken in Deutschland nützlich sein können, so z. B. die vereinfachte Schnittgrößenermittlung bei Einfeldträgerbrücken in Fertigteilbauweise.

schiefwinkliges Plattendragwerk mit Rippen bei einer Stützweite von $\approx 9,0$ m und einer Breite von $\approx 25,0$ m. Im Rahmen der Diplomarbeit sollten die Tragfähigkeit und der Bauzustand des Brückenbauwerks in Stahlbetonbauweise beurteilt werden. Auf Grundlage des Studiums der Konstruktion und der Schäden am Bauwerk wurde eine Prüfung vor Ort durchgeführt. Umfang und Durchführung der Bauwerksprüfung entsprachen dabei den Anforderungen nach DIN 1076.

In der anschließenden statischen Bewertung des Tragwerks wurde der vorhandene Bauwerkszustand berücksichtigt. Grundlage der Berechnung und Bewertung ist die Nachrechnungsrichtlinie (NRR) 05/2011 inkl. der 1. Ergänzung 2016. Die Brücke war 1999 einer Probebelastung unterzogen worden. Das Rechenmodell sollte am gemessenen Tragverhalten kalibriert werden. Demzufolge erfolgte die Nachrechnung des Bauwerks messwertgestützt mit Ergänzung um Stufe 4 der NRR (wissenschaftliche Methoden). Bei der Modellierung mit Ate-na 3D unter Verwendung von Volumenelementen konnten hohe rechnerische Tragreserven am Bauwerk festgestellt werden.



Ansicht der Brücke aus dem Jahre 1905 bei Beginn der Abbrucharbeiten
| Foto: Oliver Steinbock

Lucie Laboureux

Vom Eisenbeton zum Stahlbeton – Entwicklungsstufen des Stahlbetonbaus in Deutschland und Frankreich im Vergleich

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Zuge der Diplomarbeit wurden die wichtigsten Entwicklungsstufen der Stahlbetongeschichte mit Fokus auf die Anfänge der Stahlbetonbauweise in Frankreich und Deutschland dargestellt. Die Entwicklung der Stahlbetonnormung in Deutschland ist eng mit dem DAfEb/DAfStb verbunden. Führende Mitglieder wie z. B. Emil Mörsch, Otto Graf, Matthias Koenen etc. waren in Deutschland prägende Persönlichkeiten. Vergleichbare Institutionen und Persönlichkeiten Frankreichs (z. B. Armand Considère, Augustin Mesnager, François Hennebique, Edmond Coignet etc.) wurden wie ihre deutschen Kollegen vorgestellt und ihr Wirken beurteilt. Die frühen Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton in Deutschland wurden dem Runderlass über Verwendung von Eisenbeton in Frankreich gegenübergestellt. Schwerpunkte bildeten hierbei neben dem Vergleich der Bemessungsan-

sätze (Biegung, Querkraft) der Umgang mit bestimmten Konstruktionen (Stützen, Platten, Balken etc.). So wurde an einem exemplarischen rechteckigen Betonbalken die Bemessung nach den jeweils unterschiedlich gültigen Bemessungsvorschriften durchgeführt. Hierbei konnte die Optimierung in den Bemessungsvorschriften deutlich dargestellt werden. Des Weiteren wurden die verschiedenen Ansätze des Sicherheitskonzepts vorgestellt, welches in Frankreich schon deutlich früher unserem heutigen semi-probabilistischen Sicherheitskonzept ähnelte. Die Bemessungsvorschriften in Deutschland und Frankreich lieferten bereits weit vor Einführung einer europäisch einheitlichen Bemessungsvorschrift vergleichbare Ergebnisse.



Charakteristische Bewehrung (Flacheisenbügel und aufgebogene Längseisen) der Bauweise Hennebique beim Abbruch einer Brücke in Dresden-Niedersedlitz | Foto: Oliver Steinbock

Tobias Hein

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss des Bewehrungsdurchmessers auf den Verbund zwischen Stahl und Beton

(Diplomarbeit)

Betreuer: Petr Máca M.Eng.,
Dr.-Ing. Kerstin Speck,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Verbundmaterialien wie Stahlbeton erfordern eine Übertragung der Kräfte zwischen den beiden Materialien. Dies geschieht bei Stahlbeton im Bereich der Verbundzone. Die Kraftübertragung wird dabei von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die in der Literatur kon-

trovers diskutiert werden. Deshalb wurden die unterschiedlichen Theorien zum Einfluss der Parameter auf die Verbundzone analysiert. Hierbei galt ein besonderes Augenmerk dem Einfluss des Durchmessers des Bewehrungsstahls auf die maximale Verbundspannung. Aus der großen Menge an verfügbaren Ergebnissen in der Literatur wurden Experimente an Ausziehkörpern nach RILEM-Empfehlungen ausgewählt und ausgewertet. Die Versuchsdaten wurden aufbereitet, um den Einfluss variierender Parameter wie der Betondruckfestigkeit beurteilen zu können. Dabei ergab sich eine größere Verbundspannung bei größeren Bewehrungsdurchmessern. Anhand einer Versuchsreihe sollten die in der Literatur gefundenen Theorien überprüft werden. Dafür wurden 27 würfelförmige Aus-

ziehkörper in Anlehnung an die Empfehlungen des RILEM mit Bewehrungsstäben mit Durchmessern zwischen 8 mm und 28 mm und einer mittig liegenden Verbundlänge von zweimal dem Stabdurchmesser hergestellt und im Alter von 28 Tagen geprüft. Anhand der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen konnte der in der Literatur gefundene Einfluss bestätigt werden. Anschließend Vergleiche der eigenen Ergebnisse mit den analytischen Kurven gemäß den Empfehlungen des Model Codes 2010 zeigten teils starke Abweichungen zu den Versuchsergebnissen. Da einige der Abweichungen nicht zur sicheren Seite hin waren, wurde eine Anpassung der Gleichungen des Models Codes auf die im Versuch gemessenen Ergebnisse in zwei Varianten diskutiert und mit den Versuchsergebnissen verglichen.

Patrick Koreng

Schleuderbetonmasten in der DDR

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Schneider,
Dr.-Ing. Torsten Hampel,
Dr.-Ing. Silke Scheerer,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Oftmals werden sie nicht bewusst in ihrem Erscheinungsbild und im alltäglichen Umfeld wahrgenommen. Dennoch sind sie besonders im ländlichen Gebiet für Stromleitungen oder in Städten für die Beleuchtung in großer Anzahl vorhanden. Die Rede ist von geschleuderten Spannbetonmasten aus der DDR. Eine Bestandsermittlung zu Freileitungsmasten bestätigt die große, heute noch vorhandene und genutzte Anzahl.

Ein Großteil der Unterlagen über das VEB Spannbetonmastenwerk Coswig, welches ca. 1,2 Millionen Masten in der DDR produzierte, wurde vernichtet. Da das Werk einen Großteil der DDR mit Masten versorgte, wurde soweit möglich die Geschichte und Herstellung aufgearbeitet. Für die Herstellung dieser Maste wird das sogenannte Schleuderverfahren angewendet, welches in Sachsen erstmals patentiert wurde und bis heute zur Anwendung kommt. In der Arbeit wurde auf die verschiedenen



Längsrisse und Abplatzungen an einem Spannbetonmast | Foto: Patrick Koreng



Verbundzone zwischen Bewehrungsstahl und Beton nach dem Auszugversuch | Foto: Tobias Hein

Schadensbilder und -ursachen eingegangen. Häufigstes Schadensbild sind Längsrisse, die man lange Jahre dem inhomogenen Querschnittsaufbau und den daraus resultierenden unterschiedlichen Dehnungen infolge thermischer und hygrischer Beanspruchungen zuschrieb. Die eigentliche Hauptursache für Längsrisse ist jedoch die damals angewandte zu scharfe Wärmebehandlung und anschließende Lagerung.

Nachdem im Jahr 2012 in Würzburg Oberleitungsmasten durch ein schlagartiges Versagen Aufsehen erregten, geriet eine neue Schaden-

ursache in den Mittelpunkt. Bestimmte Sorten des verbauten Spannstahls sind anfällig für Spannungsrissskorrosion. Berechnungen haben gezeigt, dass diese Schadensursache kritisch zu betrachten ist und bei partiellem Spanngliedausfall kaum Sicherheiten zu erwarten sind. Der herausgearbeitete Lösungsansatz, diese Schadensursache rechtzeitig zu erkennen und grundsätzlich bei einer Mastinspektion zu integrieren, lässt auf die zukünftige Gewährung einer Restsicherheit durch die Sanierung mittels Textilbetonverstärkung hoffen.



Spannbetonmaste | Foto: Patrick Koreng

Laura Gerbens

Impaktdämpfung in Natur und Technik durch Absorptionsschichten und -konstruktionen (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Silke Scheerer,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Diplomarbeit zur Impaktdämpfung in Natur und Technik durch Absorptionsschichten und -konstruktionen analysiert baufremde Bereiche, um neue Methoden und Inspirationen für den Schutz von Massivbaukonstruktionen zu finden. Dazu wurden zuerst natürliche Lösungen, wie zum Beispiel nach dem Vorbild der Zitrusfrüchte, und anschließend technische Lösungen, z. B. aus der Verpackungsbranche, analysiert. Darauf folgend wurden die einzelnen Lösungen auf ihre Belastungsgrenzen (Größe, Dauer, Geschwindigkeit), aber auch ihre eventuelle Umsetzung und Adaption in den Massivbau untersucht und bewertet.

Grundlegend wurden dabei elf verschiedene Prinzipien vorgestellt, wobei insgesamt 21 Material- und Konstruktionstypen unterschieden wurden. In einer anschließenden Diskussion und Auswertung konnten Ideen für neue Systeme der Impaktdämpfung im Massivbau gefunden werden. Als besonders vielversprechend haben sich dabei zelluläre metallische Werkstoffe wie Metallschäume oder dreidimensionale Drahtstrukturen, Gelmaterialien wie das in Japan entwickelte Alphagel oder aber auch Stoßdämpfersysteme der Automobilbranche erwiesen. Auch selbstheilenden



Schalen von Zitrusfrüchten sind wirkungsvolle natürliche Dämpfungskonstruktionen | Foto: Manfred Curbach

Materialien aus Kunststoff, Metall oder auch Beton wurde ein großes Potenzial zuerkannt. Ein weiteres Ergebnis der Arbeit ist eine branchenübergreifende Recherche. Diese hat sich als besonders interessant und effizient erwiesen. Vor allem die Natur bietet mit ihren

Ruben Heiming

Einsatz von tragenden Sandwichelementen mit Deckschichten aus glasfaserverstärktem Kunststofflaminaten in Architektur und Bauwesen (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Bernd Grüber
(ILK, TU Dresden), Dipl.-Ing. Tino Kühn,
Dr.-Ing. Matthias Oppe (Knippers Helbig GmbH, Stuttgart).
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Sandwichelemente sind im Bauwesen überwiegend als raumabschließende Fassadenelemente mit einer tragenden Unterkonstruktion bekannt. Diese Strukturelemente setzen sich aus mehreren Schichten zusammen. Meist umschließen zwei dünne Deckschichten aus Stahl einen Hartschaumkern aus Polystyrol (PS) oder Polyurethan (PUR). Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Sandwichelemente mit Deckschichten aus glasfaserverstärktem Kunststoff untersucht. Verschiedene Kernmaterialien wurden in Bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften verglichen. Soll nicht nur der Raumabschluss, sondern die komplette tragende und formgebende Struktur, also Wände, Decken und Dach, aus Sandwichelementen bestehen, ändern sich entsprechend die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften. Vor allem müssen hohe Nutz- und Ausbaulasten aufgenommen und über geeignete Verbindungen zwischen Decken- und Wandelementen

in unzähligen Jahren durch die Evolution optimierten Verfahren und Prozessen einen großen Pool an höchsteffizienten Lösungsvorschlägen. Aber auch andere Technikbereiche bieten viele Möglichkeiten für den Massivbau, wenn sie auch nicht naheliegend scheinen.

abgetragen werden. Tragende Elemente aus Kunststoff müssen mit einem geeigneten Bemessungskonzept dimensioniert werden. Das zeitabhängige Verhalten von Kunststoffen und die hohe Anforderung an Sicherheit für tragende Bauelemente führen zu einer Abminderung von 50–80 % der charakteristischen Festigkeit.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Entwicklung möglicher Verbindungen der Sandwichelemente untereinander. Bei einer mechanischen Verbindung werden die Deckschichten im Bereich der Fügelemente beschädigt. Sowohl in ungerichteten als auch in gerichteten Systemen sind die Glasfasern bzw. die Rovings sehr dicht angeordnet. Das Bohren von solchen Profilen bedeutet somit zwingend das Zerstören einiger Fasern und somit eine erhebliche Querschnittsschwächung. Geklebte Verbindungen sind insbesondere bei faserigen Werkstoffen wie Holz oder eben auch GFK eindeutig materialgerechter und führen zu steiferen, in den meisten Fällen sogar zu tragfähigeren Verbindungen. Bei den Deckschichten der vorliegenden Sandwichelemente wurde ein thermoplastischer Kunststoff verwendet, mit dem auch geschweißte Verbindungen realisiert werden können.



Sandwichelement mit einer Stärke von 20 cm
| Foto: Ruben Heiming

MASTER'S THESIS 2015/16

Abdul Satar Aqaie

Concept and design of a pedestrian and cyclist bridge

(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Robert Zobel
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Within the thesis's work, the conceptual design of a pedestrian and cyclist bridge over the Datteln-Hamm-Kanal and Lippe River, in Hamm, was carried out. The aim of the design was to connect the center of Hamm with the surrounding agricultural fields. Special attention was given to the accessibility requirements and bridge regulations within all parts of the design. The design requirements include placing the location of the bridge as close as possible to any existing pedestrian trail while providing a feasible solution from

a geotechnical point of view. The bridge was designed to reflect both functionality and aesthetics in such a way that reflects not only beauty but also functionality, static and dynamic stability during service conditions. Three different possible solutions for a bridge structure were given, along with the preliminary design of connections and junctions. Based on the advantages and disadvantages of each preliminary design, one of them was picked up as a final design, and the related calculations were completed. The selected option was a cable stay bridge. The concept behind such a final design is the letter H, the first capital letter of the city. The focal point of the design is the pylon. Statically, the pylon is acting as a diamond shape tower. Because of aesthetic reasons, the pylon was reshaped as two geese standing in front of each other, which is visible in elevation view of the bridge.



Conceptual design of the proposed cable-stayed bridge in Hamm | Graphic: Abdul Satar Aqaie

Sagar Barvaliya

Numerical investigations on the behaviour of different impactor designs hitting concrete slabs

(Master's thesis)

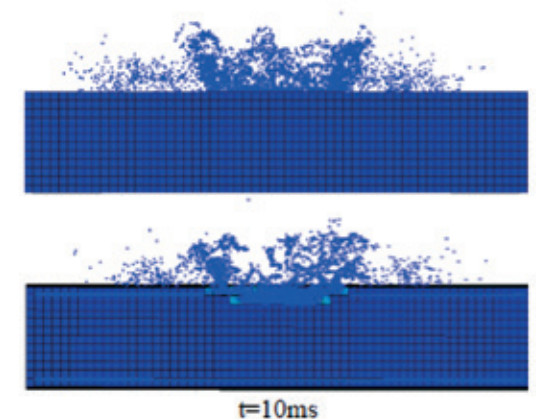
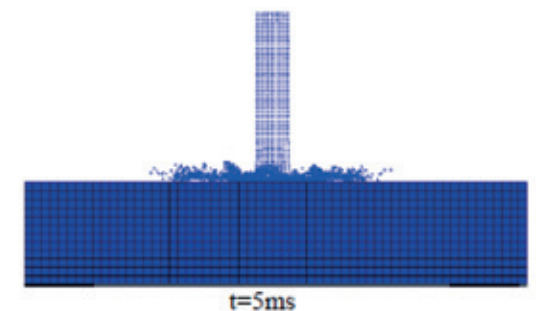
Supervisors: Tino Kühn M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

The aim of the work is to analyze the differences between massive solid-like impactors and hollow pipe impactors (with and without a liquid filling). This study was conducted in a state-of-the-art experimental drop tower facility of the Institute of Concrete Structures at TU Dresden. Various finite element models have been developed, using the commercial software LS-DYNA to simulate the behaviour of reinforced concrete slabs under different impactors. The drop heights were varied to analyze its effects. Of particular interest were parameters related to slab displacement, impact force, and cylinder length, for tests conducted at different velocities.



For the high-velocity impact, the cylinder was damaged throughout half of its length after impact. Also, a fluid impactor was generated by using SPH particles to simulate the behavior of water hitting a concrete slab. The algorithms to implement the selected concrete material models have been validated at our institute. Parameter variations and comparative studies were done, and many phenomena are observed and described, including pulse duration, respective force distribution and failure behaviour of the impactor and slab.

The motivation behind the design and analysis of a fluid filled impactor is to see the dynamic behaviour of fluid particles and soft impact on the concrete slab at different impact velocities. Impact velocity ranged between 20 m/s to 150 m/s. The water was idealized as particles contained in a missile modeled as an aluminum cylinder, and it was assumed that those particles could be dispersed to the surrounding area after the missile crashes.



Fluid filled hollow impactor shown as it strikes the concrete slab
| Graphic: Sagar Barvaliya

Maciej Nowakowski**Strengthened coupling joint by carbon concrete***(Master's thesis)*

Supervisors: Dr.-Ing. Harald Michler,
Dr.-Ing. Patricia Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

In this thesis, an old bridge structure was analyzed, and as a result, it was determined that failure might occur in the coupling joint area. Consequently, a method of strengthening it with carbon reinforced concrete was proposed. The damage may occur because the structure was designed according to old standards. Nowadays, loading conditions have significantly changed. Therefore, some bridges may not fulfill the new standards. Damage may develop due to increased traffic loads or design assumptions that were too optimistic. The coupling joint area is a sensitive point of a structure and a location where damage is likely to occur.

In the first part of the thesis, a specific, existing bridge structure was analyzed, and

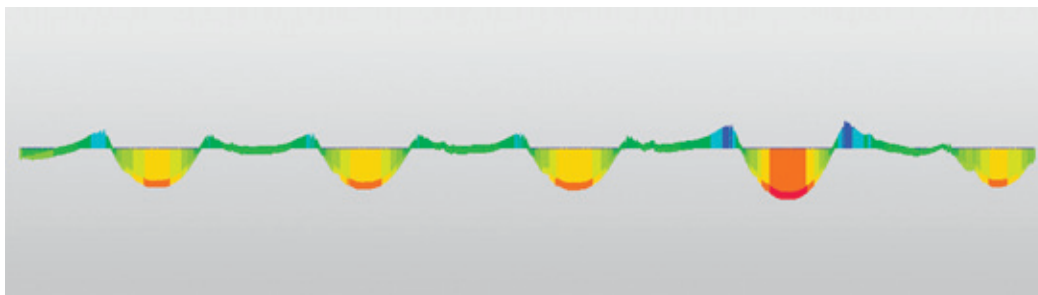
possible failure modes in its coupling joint area were predicted. In the analyzed case, the main problem is the lack of sufficient longitudinal bending reinforcement. The total area is more than five times smaller than the minimal value required by present standards. Due to increased traffic, the bottom edge of the cross section is loaded with cyclic tension and compression stresses. Change in stress combined with insufficient reinforcement results in cracking of the bottom surface. This leads to steel corrosion and damage of the reinforcement, which can cause even further cracking, resulting in failure of the structure due to shear. In the second part of the thesis, a possible method of reinforcing the structure with carbon reinforced concrete is proposed. The final solution for this problem is an additional layer of carbon reinforcement. It is calculated under the assumption that the carbon reinforcement should support the excess of force, which would be transferred by additional steel reinforcement when the structure reaches its flexural bending strength. The textile reinforcement is a good alternative to traditional methods of strengthening bridge beams.

Saeid Zabihi Moghaddam**Evaluation of the prestressed concrete reinforced with carbon textile***(Master's thesis)*

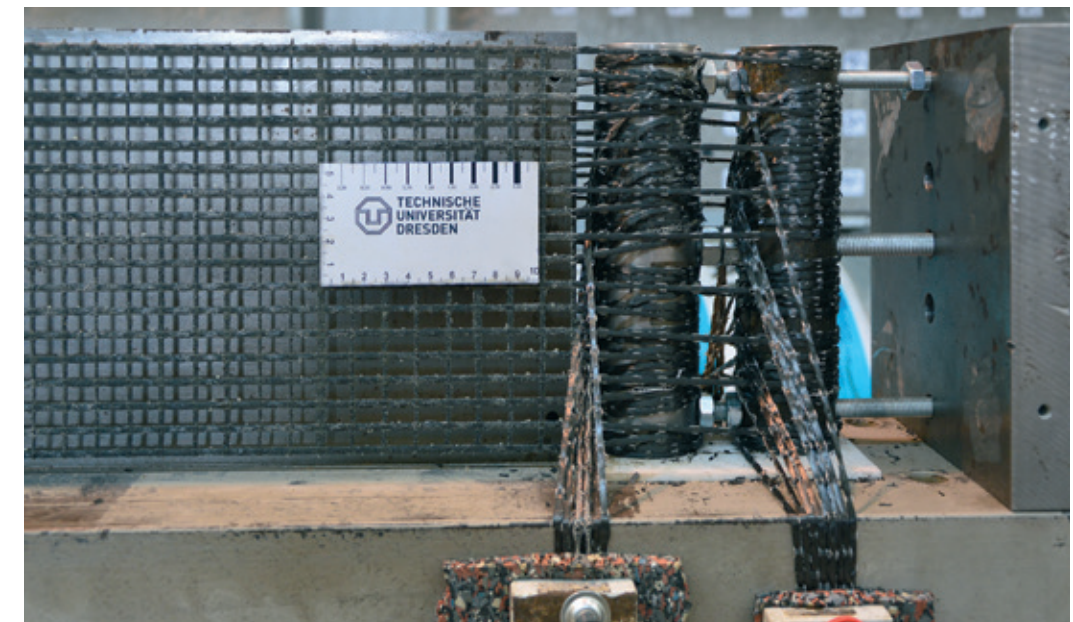
Supervisors: Dr.-Ing. Harald Michler,
Dr.-Ing. Enrico Lorenz (Curbach Börsche
Ingenieurpartner, Dresden),
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Textiles and single yarns made of carbon were utilized to prestress concrete members. Test specimens (1000×200×30 mm) were studied to evaluate the behavior of the prestressed TRC elements, as well as the bond properties between textile and concrete, the failure modes, the crack patterns of the concrete, and the load-bearing capacity. A device with specific clamping fixtures for applying a prestressing force was designed. The commercially available concrete mix PAGEL TF-10 was used. As a reinforcement, two type of yarns and one type of textile reinforcement were used: Toho Tenax US7540 F23 and Toho Tenax T6F9AC101, and the Textile Fabric SITgrid 008 (NWM3-008-10-b1). In this study, testing of the thin prestressed TRC elements

under bending loads revealed that impregnating the textile fabrics with epoxy resin and coating them with sand particles while the epoxy was still wet resulted in a higher bond strength than that of untreated textile fabrics. Indeed, both the effective cross-sectional area of the textile reinforcement and the bond properties were improved. Due to the enhancement of the load-bearing capacity of the elements reinforced with treated textile reinforcements, cracks occurred only at higher loading levels, and crack spacing was reduced as a result of the improved bond properties. Also, post-cracking elongation of the textile reinforcement was reduced, so that the width of the cracks was decreased. In addition to the results mentioned above, prestressing caused a reduction in curvature and deflection of the elements as well. Thus, it can be concluded that the elements' serviceability is improved significantly. However, the benefits of prestressing are lost over time due to relaxation of the textile filament, shrinkage and creep effect of the concrete. Over longer periods, it is more affordable to use textile fabrics than single yarns for attaining prestressing effects in concrete.



Controlling positive bending moment in the bridge | Graphic: Maciej Nowakowski



Clamping fixtures for applying prestressing force | Photo: Saeid Zabihi Moghaddam

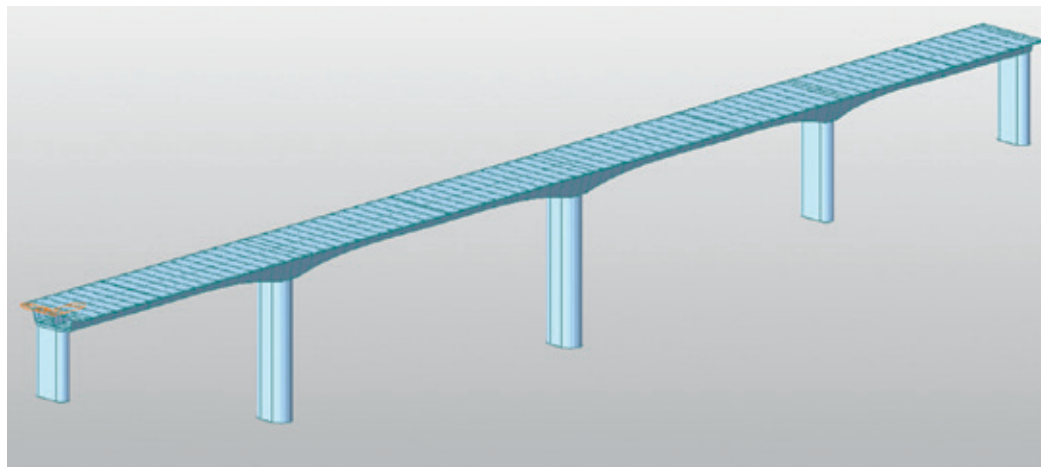
Andrei Cioroianu**Conceptual analysis of a highway segmental box girder bridge**
(Master's thesis)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In today's modern world, bridges play a key role in transportation. Efficiency through economy of material, sustainable planning and use of composite structures is continuously sought. Segmental bridges have proven to reduce construction time significantly. Moreover, box girder cross-sections can reach a high degree of optimal material usage. Box girders come in many configurations, with one or many cells. This work analyzes the concept of a highway segmental box girder bridge over a river crossing, and it provides two alternate designs: one for a single box girder and another for a double box girder. The advantages and disadvantages of both designs are shown. The analysis was performed in the longitudinal direction as well as transversal direction. With the help of the software

MIDAS CIVIL, two models were created and analyzed in the frame of the AASHTO LRFD and MN/dot Minnesota guidelines. Both post-tensioned bridges have four spans with an outer/inner span ratio of approximately 4 to 5, and they were built using the free cantilever method. Live loading is considered as per AASHTO LRFD 6th Edition and three permit loads as per MN/dot. During the construction phases, the specific construction live load was considered. Time-dependent properties of concrete were considered according to CEB-FIP 1990. Uniform temperature and section temperature gradients were considered. Specific segmental considerations were taken into account during the construction phase. Allowable stresses were observed, and member capacities were calculated. Serviceability requirements of the bridge are also respected. The results show that a double-cell box girder section proves to be more economical than a single-cell box girder. The middle web reduces the span of the deck in the transversal direction and increases the effective flange width under shear lag effect.

Isometric view of a segmental box girder bridge | Graphic: Andrei Cioroianu

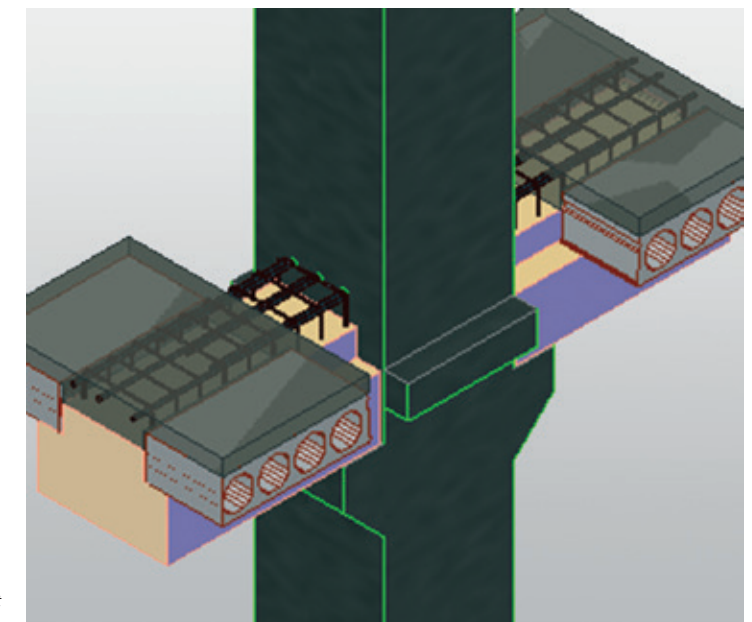
**Amaid Jafri****Studies on the continuity effects of precast concrete girders connected by in-situ concrete topping**
(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

In precast building structures, considering any connection section and its respective plan as it is given in the figure, a system is given where it shows the detail as girders are resting over corbels from column and slabs are resting over ledges/top of girders at the point of intersection of column and beam. In precast building construction case it is not clearly defined whether the connection is a moment connection or not because the in-situ concrete part is the only connection between the two spans. The connection details in precast is not as defined as in cast in place case. Thus, during designing of precast building structures It is not clear whether one should take the case as in cast in place case or not because precast structures is more simply supported which meaning no negative

moment supposed to be at the support as they are simply supported single span girders but due to the introduction of in situ concrete connection a state in between has developed where some extent of negative moment might be utilizable. This task have evaluate methods with which one can calculate how much moment would occur at the connection in the precast building construction so to provide precise reinforcement for a negative moment occurring at support which releases span moments thereby enable us to calculate exact calculation of span reinforcement. In order to execute the task, a simple system has been considered to evaluate by explicitly two methods, firstly, by defining rotational spring in the simple two span line beam model and secondly, by running finite element method (FEM) for 2D plate model of beam-to-column connection to extract amount of moment at support and thereby inquiring the value of rotational spring that brings the similar amount of moment in the line beam model. Three different cases, depending on the connection details regarding material interaction have been described and thereby respectively results are extracted.

3 D view of the connection between two adjacent beams at an interior support
| Graphic: Amaid Jafri



José Alejandro Arellano Pericón**Comparison of transverse live load analysis methods for a concrete segmental box girder according to the Eurocode**
(Master's thesis)

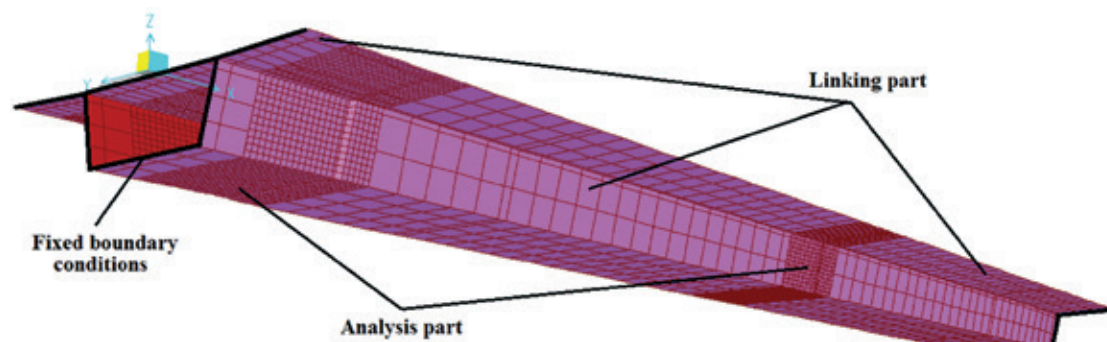
Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Robert B. Anderson, P.E., S.E. (AECOM, Tampa, USA), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The validation of the transverse analysis capabilities of the commercial software Midas Civil as a tool for designing the transverse reinforcements for the different elements of a girder was the main goal of this master's thesis. This research was carried out through an extensive comparison between Midas Civil results and the results obtained through other methods. Alternative methods used for the purpose of comparison were a 3D FE model, created with the commercial software SAP2000, and a 2D frame FE model, to which the transverse flexural moments calculated using the Homberg charts were applied. Additionally, the calculations were

based on the Eurocode, making use of the load model 1, load model 2, and the fatigue load model 2.

The investigation was comprised of five different parts. The first part described the bridge's geometry, tendon profiles, and material properties. In the second part, details of the different loads applied to the system could be found. The third part explained the methodology that was followed, including the load cases defined for the investigation and a description of the two FE models used. Then, the final results were presented and compared. Finally, a set of conclusions were established regarding the results obtained.

In conclusion, the transverse analysis module of Midas Civil seems to be limited. Although it offers designers a fast tool to develop the analysis, its application may be complex, and the results may not be as accurate (depending on the location of the point of analysis and the number of axles that constitute the load model applied) as the ones obtained by a full 3D FE model.



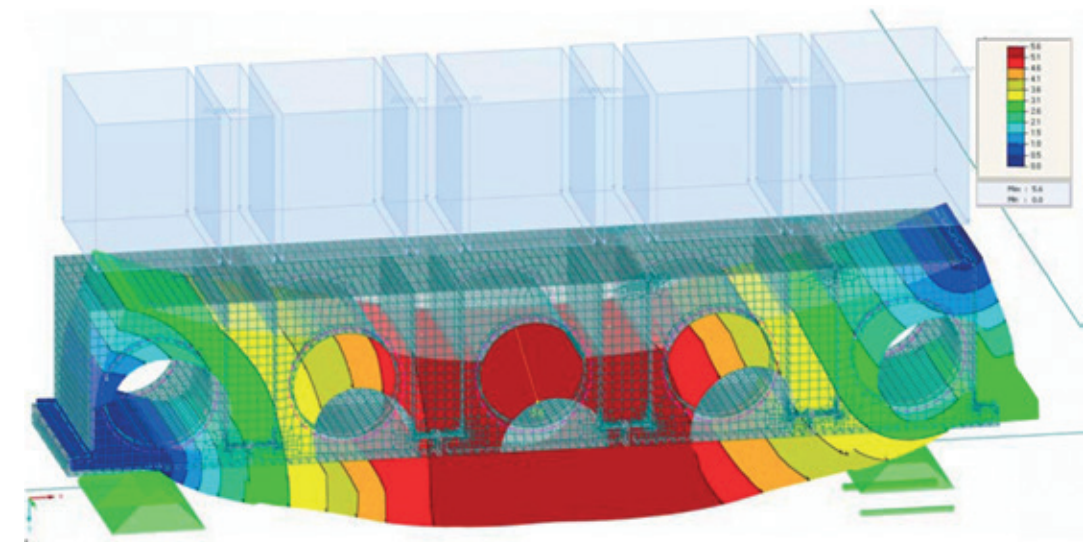
Discretization of the shell elements and applied boundary conditions – SAP 2000 V14.2
| Graphic: José Alejandro Arellano Pericón

Pavel Chuyan**Design, calculation and constructive detailing of a railway superstructure made of prestressed concrete**
(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm, Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Design and calculation for superstructures of railway bridges was processed at the level of approval planning based on a following concept. Prefabricated beams, made of high performance concrete (HPC), are subjected to pre-stressing in pre-tensioning method, which are connected with normal strength concrete, after the assembly to a solid plate. Preliminary design was made as a sketch of number of beams lying next to each other, forming the cross-section of railway bridges for single- and double tracks. Length of structure is 22.80 m with corresponding length of beams 21.00 m. Size of beams were determined in order to

provide suitable solution for 5 and 9 m width of cross-section for one and two way bridge respectively. Therefore, dimensions of single beam are 98 cm in width and 90 cm in height as reference point. For reduction of self-weight stipulated a round shape opening with diameter of 57 cm as well as recesses of rectangular shape with two variations 12 cm width by 80 cm in depth or 12 cm width by 23 cm in depth, for both upper sides of a beam. Prefabricated elements are made of HPC C90/105, in between is normal strength concrete C30/37. During the Master Thesis composition of load assumptions for railway bridges was done according to EC 1991-2:2002. After loads assumption, the design of the complete structure, in order to find the relevant forces, was performed. Then, the comparative analysis of different methods of modelling with the use of RFEM 5.0 of Dlubal software was done for different combinations of recesses for single- and double-track bridge. Eventually, was determined the mechanism of calculation of these types of bridges for further optimization of the cross-section in terms of slenderness with spans between 10 and 25 m.



3D model of a railway superstructure in transverse direction made of prestressed high performance concrete
| Graphic: Pavel Chuyan

Sevket Burak Ertoglu**Design and detailing of precast bridge decks made of high performance concrete**
(Master's thesis)

Supervisors: Dr.-Ing. Patricia Garibaldi,
Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Ultra high-performance concrete (UHPC) features not only high strength but also improved durability because of its dense microstructure. This dense microstructure enables the design of bridge decks without using sealing and pavement. The aim of this thesis is a parametric design of UHPC bridge decks without any sealing and pavement.

The parametric design provides optimization features to find cost efficient cross sections. Within this scope of work, optimum deck designs were proposed for 3, 6, 9, 12 and 15 m

spans which take under consideration design guidelines and economy. For each span, a controlling limit state was determined, and the optimum solutions were proposed.

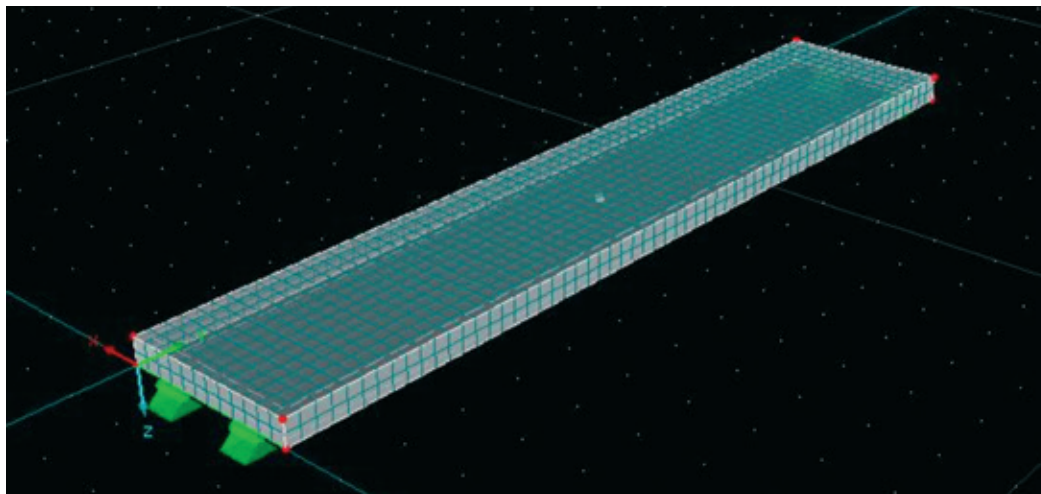
The parametric design was conducted using Excel spreadsheets to calculate the optimum cross sections regarding material costs for short span bridges with solid slab geometry. Conceptual, detailed and final design stages were carried out in accordance with the Eurocode and German National Annex and also according to the German Technical Approval when needed. The pedestrian bridge decks were designed, using ultra high-performance concrete, C80/90 and reinforcing steel B 500 B as building materials. Use of stainless steel was also taken into account for the cost optimization. As a verification, the hand calculations were compared to those calculated with a finite element software RFEM (Dlubal). Different modeling techniques in RFEM were studied and discussed within this work.

Ramin Panahi Bazaz**Comparison of load rating methods for bridges using LPFR and the German Nachrechnungsrichtlinie**
(Master's thesis)

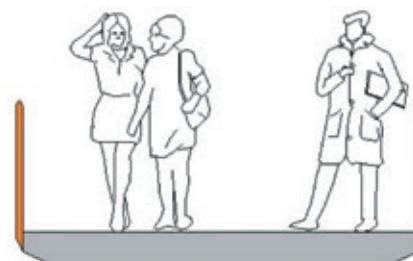
Supervisors: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dr.-Ing. Patricia Maria Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Germany and the USA show comparable demands on their existing bridges. On the one hand traffic and age of the buildings are increasing. On the other hand the conditions of the bridges are getting worse increasingly. This is the reason why Germany and the USA developed their own guidelines to fulfil the individual requirements and the state of the building. Since then these dimensioning instructions were adapted constantly. One task of this study was to compare the

structure and orientation between these two guidelines. This comparison shows that the American guideline is designed for the typical prefabricated constructions with mainly short to middle spans. For these types of bridges simplified calculations on replacement beams are used. The lateral distribution is included into load spreading factors. These factors could be examined and confirmed by the girder grid modelling. The procedure of the recalculation showed parallels in both countries. Through step by step improvements within the calculation or modelling, traffic loads can be adjusted to the actual traffic situation. Furthermore the design loads and (design) requirements were compared. This comparison showed that the USA generally generates lower internal forces for traffic loads. All calculations for this thesis were performed on a typical American overpass/superstructure/bridge.



RFEM rendering of the model
| Graphic: Sevket Burak Ertoglu



Typical cross section of the proposed pedestrian bridge
| Graphic: Sevket Burak Ertoglu



Top view of the bridge
| Photo: AECOM – bridge inspection



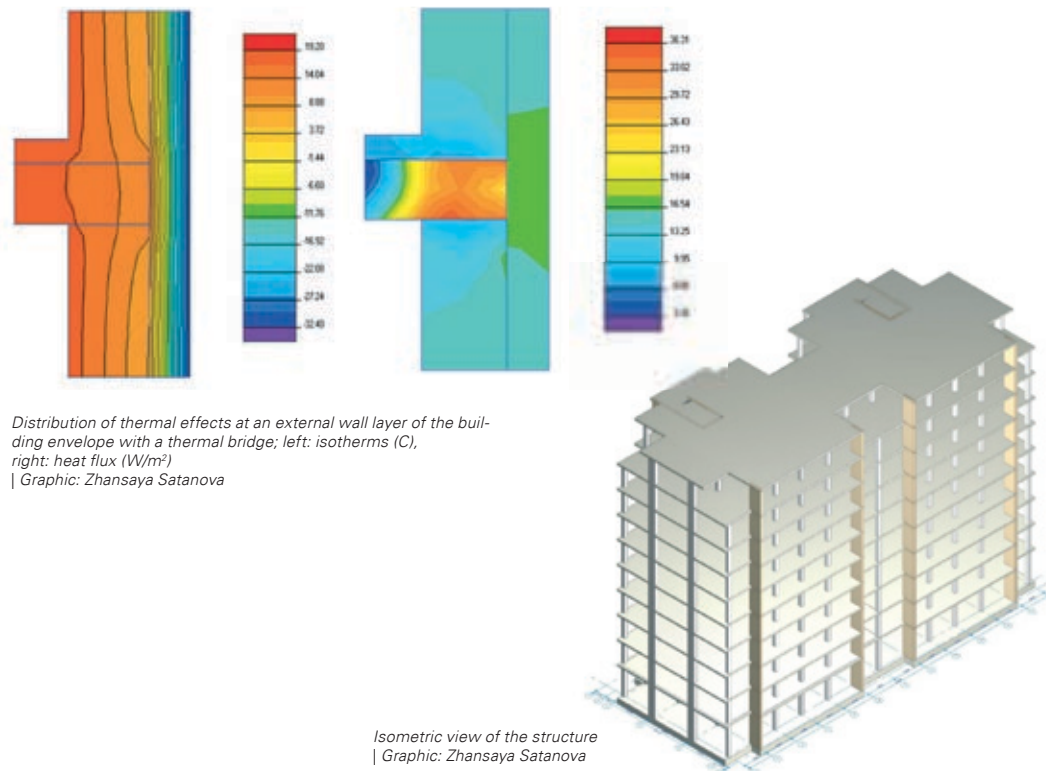
Longitudinal view of the bridge
| Photo: AECOM – bridge inspection

Zhansaya Satanova**Comparative design, detailing and bill of materials of a residential building in Kazakhstan and Germany***(Master's thesis)*

Supervisors: Dr.-Ing. Patricia Garibaldi,
Dr.-Ing. habil. Regine Ortlepp
(Leibniz-Institut für ökologische
Raumentwicklung (IOER), Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,

The main goal of this master's thesis was to compare the technological differences in the construction of a typical residential apartment buildings between Kazakhstan and Germany. In the beginning, the effort consisted of classifying residential building types in Kazakhstan and determining widespread apartment building types of which to compare structural designs according to the requirements of Kazakhstani and European codes. For this purpose, a multi-story reinforced concrete apartment building was designed.

Moreover, the structure of the building was modified to satisfy the construction guidelines in Germany, assuming that the structure would be located in Germany. The second part of this work includes a description of the static system of both apartment buildings, as well as the initial sizing of elements, and a selection of material properties of the buildings' load-bearing structures. Subsequently, the design of the buildings' thermal insulation was developed. This includes some sub-items such as: determining the indoor and outdoor climatic conditions, calculating the thermal resistance of the homogeneous and inhomogeneous building envelopes and checking the resulting values for condensation, mold growth and discomfort risks. Once the conceptual design was completed, the structural analysis and structural design were done. This was achieved by using a FEA software with design codes for Asia and Europe. The last section of the thesis is an estimation and comparison of the amount and composition of materials used in the two apartment buildings.

**Shirin Fataei Bolourchi****Design and dimensioning of prestressed girders made of high performance concrete**
(Master's thesis)

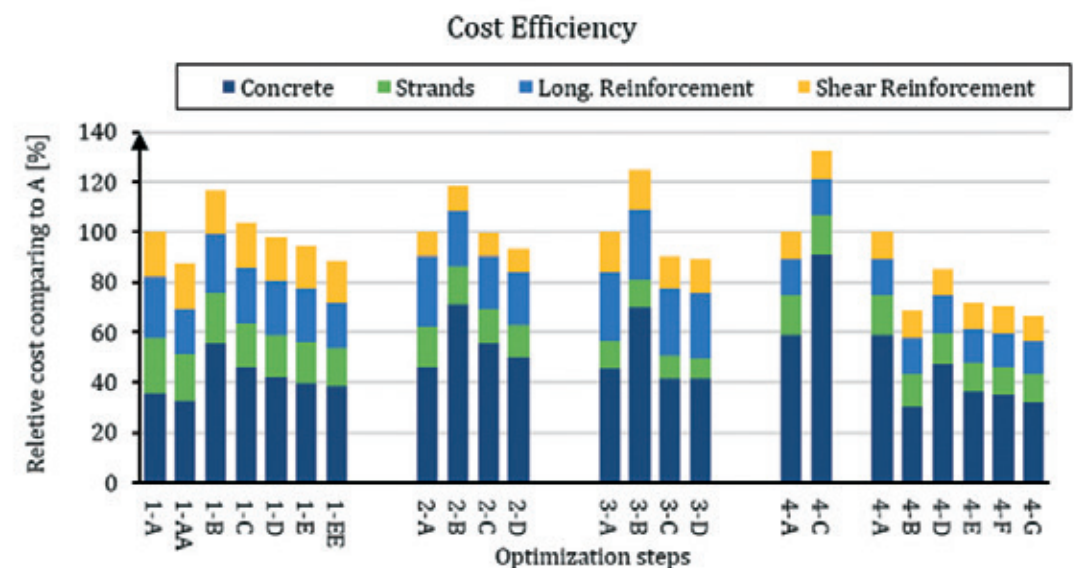
Supervisors: Dipl.-Ing. Angela Schmidt,
Dr.-Ing. Frank Jesse
(Hentschke Bau GmbH Bautzen),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Precast, prestressed girders are being developed and utilized, as their demand increases worldwide. Prestressing reduces or eliminates the internal tensile forces and thereby minimizes or eliminates cracking. Also, the superior behavior and properties of HPC encouraged scientists and engineers to design and fabricate prestressed girders with HPC, which have improved durability and are resistant to cracking as well.

Despite the many advantages of HPC, its application in precast, prestressed girders poses new challenges, including difficulties in fabrication, transportation and the construction of long girders. Furthermore, the high com-

pressive strength of HPC allows the production of shallow and slender girders, which may be laterally unstable during the construction phases or even service life of the structure. Moreover, the higher cost of HPC is a concerning issue for manufacturers, since it may increase the total cost of the girders.

The main purpose of this master's thesis was to design and optimize precast, prestressed HPC girders for industrial applications, with a focus on preventing lateral-torsional buckling of the slender concrete beams. For this purpose, a parametric, Excel-based model was developed for pre-design and design of the girders in accordance with Eurocode 2 and the German National Annex, which was then verified with the help of commercial software, FRILLO B8. Lateral-torsional stability was calculated and determined not only with earlier-developed approximation methods such as those of Stiglat and Mann but also with 2nd order theory and the software FETT-KIN. Optimization of cross-sections under consideration of production and detailing constraints and a study of the cost efficiency of prestressed HPC girders were further aspects of this thesis.



Cost efficiency of the designed girders
| Graphic: Shirin Fataei Bolourchi

Ikenna Milletus Aniobodo**Conceptual analysis of a highway segmental box girder bridge**
(Master's thesis)

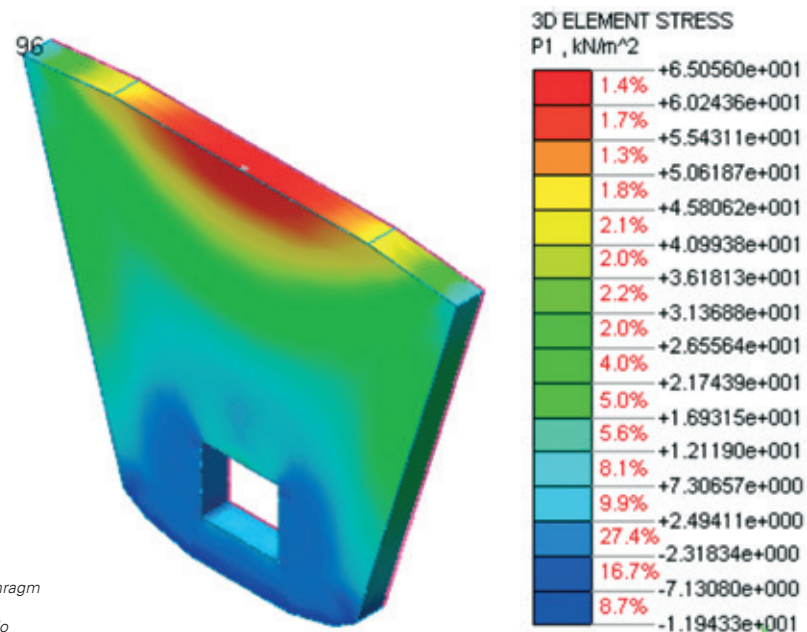
Supervisors: Dr.-Ing. Patricia Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bridge designers continually strive to meet the demands for safer, more economical bridge structures. In response to the many requirements imposed by traffic considerations, environmental obstacles, more efficient use of land in urban areas, safety and aesthetics, there is a trend to build bridges with long spans.

The box girder cross-section is ideal for bridge superstructures since its high torsional stiffness provides excellent transverse load distributing properties. Its cross-section also features a lower slab, which lowers the center of gravity and allows for an efficient layout of tendons at the pier. The modularity and

anatomy of segmental box girders add new dimensions to conventional bridge design and construction practices. The interaction between the deck and remaining parts of the girder, as well as construction loads, complicates the analysis and design of a segmental box girder bridge. The bridge design carried out in this project is comprised of a prestressed concrete segmental box girder superstructure spanning over a 342 m river channel. Two alternative designs of single and double cells were developed under the same loading and boundary conditions. Loading, analysis, design verification and detailing referred to the relevant provisions of the Eurocode.

To satisfy serviceability requirements, both bridge superstructures ended up having similar reinforcement details. The recommendation of double cell box girders for their improved structural response is justified, but the extra cost involved must be taken into consideration. However, both designs are feasible and safe for the spatial arrangement of the bridge, its expected loading and lifetime.



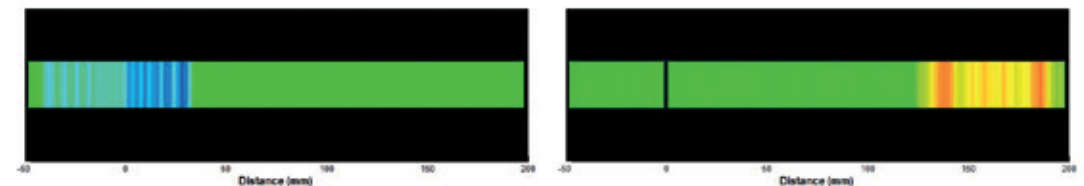
Stress concentrations at pier diaphragm
during cantilever construction
| Graphic: Ikenna Milletus Aniobodo

Evans Amponsah**A discrete element approach to shock wave propagation and spall fracture – part 1: wave propagation**
(Master's thesis)

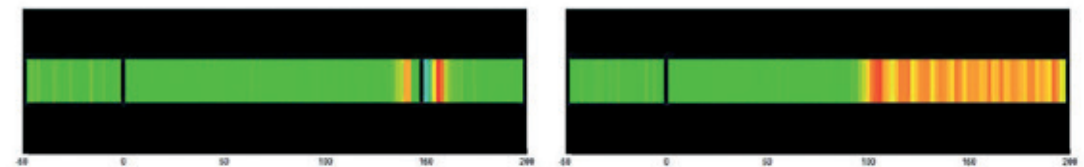
Supervisors: Dipl.-Math. Dirk S. Reischl,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The discrete element method (DEM) has been used to simulate the propagation of shock waves in a thin cylindrical specimen made of concrete or aluminum. An aluminum impactor was used to strike the specimen, made of either concrete or aluminum, from one end. This resulted in the propagation of shock waves and accompanying spallation of the specimen. Different impact velocities were simulated to investigate the effect on spalling of the specimen. Values of the spall

strength of the specimen for the different impact velocities were calculated utilizing the pull-back velocities measured from the free surface velocity of the specimen. It was found that the spall strength of the material is not a fixed value, but depends on the magnitude of the impact velocity, which controls the rate of development of the tensile stresses responsible for the formation of spalls. Apart from the impact velocity, the geometric and material properties of both the impactor and specimen are factors found to affect the size and number of spall layers. The ratio of the length of the impactor to the length of the specimen is the major geometric parameter that has an especially strong influence on the size of the first spall layer. Also, with equal impact velocity, it has been found that the material with a higher modulus of elasticity is more susceptible to spalling.



Simulation of shock wave propagation – incident compression wave and reflected tensile wave | Graphic: Evans Amponsah



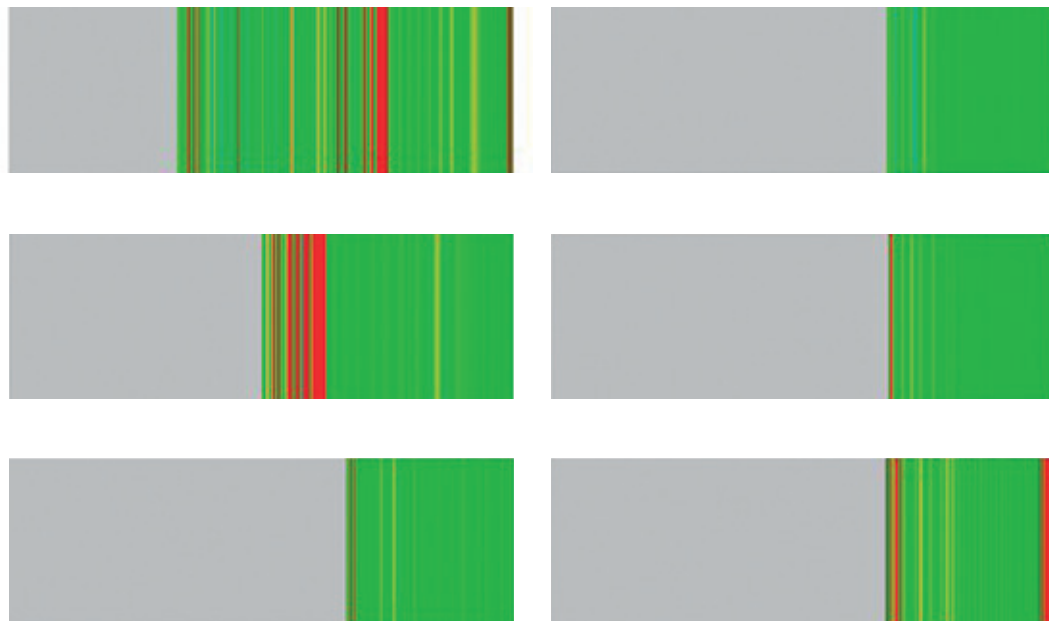
Simulation of tensile wave propagation in a specimen without/with spall fracture | Graphic: Evans Amponsah

Strahinja Djukanovic**A discrete element approach to shock wave propagation and spall fracture – part 2: spall fracture***(Master's thesis)*Supervisors: Dipl.-Math. Dirk S. Reischl,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

This master's thesis is an expansion of the topic which had been done in the module Project Work by the same author. Consideration of the problem is significantly extended, theoretically as well as numerically. It is organized in an unusual way and about a topic which is not often mentioned in the scientific literature but is important for modern construction, above all for concrete structures.

This research paper starts with a chapter where the spall fracture phenomenon is explained, pointing out its significance, characteristics and destructive potential. Also mentioned is the experimental setup used to provoke this

phenomenon. Then, the basic discrete element model called DEM1D is explained, as well as its typical implementation in software code. However, significant modifications have been made to describe the phenomenon more realistically. The larger part of this master's thesis concentrates on the spall fracture phenomenon (or impact crushing as some authors call it), and emphasis is placed on theoretical considerations, plausibility tests, and parameter studies. These parameter studies are realized using the so-called modified DEM1D script1. Changing the parameters one by one, analyzing the results and then comparing them with the other results makes up the core of this research paper. Besides this, the simulated results are compared with the theoretical considerations, and connections between reality, theory and computation have been pointed out. In the end, the author makes a conclusion about the plausibility and usability of the modified DEM1D code, taking the obtained results into consideration.



Simulation of shock wave propagation with varying ratio of impactor length and specimen length
| Graphic: Strahinja Djukanovic

Simulation of shock wave propagation with varying impactor velocity
| Graphic: Strahinja Djukanovic

BRÜCKENBAUExKURSION 2016 RHEINGEBIET UND NIEDERLANDE

Brücken in „Rheinkultur“ und Brücken in Bewegung

Alljährlich wird vom Institut für Massivbau die Brückenexkursion veranstaltet. Die Exkursion richtet sich in erster Linie an Studenten des 6. bzw. 8. Semesters und bietet somit die Gelegenheit, die theoretisch erlangten Grundlagen auch in situ zu betrachten. Dem Aufruf in die Niederlande folgten in diesem Jahr 22 Studierende. Neben interessanten Brückenbauwerken wurden während einer gesamten Woche u. a. auch Baustellen des Spezialtiefbaus besucht.

Gemäß dem Motto „Brücken in Rheinkultur“ war das erste Ziel der Exkursion die Autobahnbrücke Schiersteiner Kreuz über den Rhein. Nach einer ausführlichen Erläuterung des Bau-

verfahrens wurden Einblicke in die Hohlkastenkonstruktion gewährt.

Entgegen der Fließrichtung der Mosel ging es am nächsten Tag zur aktuell größten Brückenbaustelle Europas, dem Hochmoselübergang. Dort erhielten die Studentinnen und Studenten auf der Baustelle beeindruckende Einblicke in das Bauverfahren und den Vorschub des Stahlüberbaus. Des Weiteren wurden die Besonderheiten bei der Konstruktion von Pfeilern und Überbau erläutert, die sich durch die exponierte Lage und die damit verbundenen örtlichen Winde ergeben. Anschließend wurde die Seite des Rheins gewechselt. Der Weg führte entlang der Lahn bis nach Limburg. Ziel war einerseits der Neubau der Lahntalbrücke, einer Brücke in Spannbeton (die heute übliche

Erasmusbrücke in Rotterdam | Foto: Oliver Steinbock



Mischbauweise), andererseits konnten auch die Abbrucharbeiten der alten Lahntalbrücke unter Anwendung einer angepassten Vorschubrüstung betrachtet werden.

Am nächsten Tag stand zunächst die Stadt Köln im Mittelpunkt. Nach Besichtigung der ersten echten Hängebrücke Deutschlands, der Brücke Köln-Rodenkirchen u. a. mit Besichtigung der Ankerkammern und Besteigung des 60 m hohen Pylons, konnten die Studenten die Stadt Köln mit ihren Sehenswürdigkeiten auf eigene Faust erkunden. Der Nachmittag führte über Eindhoven mit Zwischenstopp an der Radfahrerbrücke „Hovenring“ weiter nach Rotterdam. Hier durfte eine Besichtigung der Erasmusbrücke und der Rijnhavenbrücke nicht fehlen, um auch dem zweiten Motto „Brücken in Bewegung“ gerecht zu werden. Zuvor wurde noch die Raumfachwerkbücke „Grüne Verbindung“ in Rotterdam besucht. Am Nachmittag erhielten die Studenten Einblicke in Projekte und den Büroalltag von Ipv-Delft, einem Ingenieurbüro der besonderen Art. Neben Architekten und Bauingenieuren arbeiten hier auch Produktdesigner, was letztlich zu einer Vielzahl innovativer Brückenkonzepte v. a. für Fußgänger- und Radwegebrücken führte. Hier wurden uns vor allem Details zum am Tag zuvor besuchten Hovenring erläutert, ehe wir anschließend noch eine Führung über die Bahnhofsbaustelle der Stadt Delft erhielten. Auf dem abendlichen Weg nach Amsterdam rasteten die Exkursionsteilnehmer noch in Hoofddorp, um interessante Brücken des Stararchitekten Calatrava zu bestaunen.

Angekommen in Amsterdam ging es zunächst unter die Erde. Im Anschluss an die Tunnelbau- stelle, dem Spaarndammertunnel, einer Tunnelbau- stelle in offener Bauweise, folgte die Besich- tigung einer weiteren Spezialtiefbaustelle. Bei der Boerenweteringgarage wird erstmals eine Tiefgarage unterhalb einer Gracht angelegt. Die besonderen Herausforderungen des Bauens in städtischem Gebiet in Verbindung mit einem an- spruchsvollen Baugrund kamen bei diesen Bau- werken sehr anschaulich zu Tage. Am Nachmit- tag stand noch die Besichtigung der Nesciobrug an, eine der größten Fußgängerbrücken der Nie- derlande. Der nächste Tag, mittlerweile ein Tag am Wochenende, begann im ruhigen Fahrwas- ser der Amsterdamer Grachten mit einer Boots- fahrt. Neben den zahlreichen kleinen bewegli-

chen Brücken und vielen gemauerten Brücken ergab sich auch hier ein neuer Blickwinkel.

Nach dem Ausflug in die Niederlande ging es am Samstagabend zurück nach Deutschland, in das Ruhrgebiet. Auf dem Rückweg nach Deutschland standen zwei Brücken in Nijme- gen, De Oversteek und de Groentje Brug, auf dem Programm. Am Sonntag rückte das Motto „Brücken in Bewegung“ wieder in den Vorder- grund. Gegenüber den beweglichen Brücken in den Niederlanden lag nun der Schwerpunkt bei Bewegung infolge Schwingung. Die zahlreichen filigranen Fußgängerbrücken im Ruhrgebiet sind für „Belastungstests“ von angehenden Brücken- bauingenieuren besonders geeignet. Nach dem Start in Duisburg, mit der achterbahnähnliche Brücke „Tiger and Turtle“ und der beweglichen Hängebrücke im Innenhafen, ging es weiter nach Oberhausen. Auch hier konnten die Reh- berger Brücke und der Ripshorster Steg den Belastungstests widerstehen. Der dynamische Testtag wurde in Gelsenkirchen abgeschlossen. Der doppelte Bogen im Nordsternpark konnte ebenfalls besichtigt werden wie die Kreisringträ- gerbrücke „Grimberger Sichel“. Letztlich durfte die Besichtigung der Zeche Zollverein in Essen bei einem Besuch im Ruhrpott nicht fehlen.

Bevor die Reise wieder zurück nach Dresden führte, konnten noch die Ausbaumaßnahme der BAB 45 sowie der Zubringerstraße B480n vorge- stellt werden. Hier entstanden drei große Talbrü- cken, wovon zwei, die Talbrücke Nuttlar und die Talbrücke Bermecke, den Exkursionsteilnehmern vor Ort näher erläutert wurden. Eine Werkbe- sichtigung einer Holzbaufirma mit der Fertigung von Brettschichtholzträgern von bis zu ≈ 50 m Stützweite rundete die Exkursion ab. Insgesamt ergab sich somit ein abwechslungsreiches Pro- gramm, bei dem die große Bandbreite des Inge- nieurbaus aufgezeigt werden konnte.

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock und
Dipl.-Ing. Jakob Bochmann

SCHÜLERPRAKTIKUM MANOS

Wintersemester 2015/16

Die Dresdner Brücken – Vergleich der Tragwerke mittels computergestützter Rechenprogramme

Die Dresdner Brücken unterscheiden sich nicht nur in ihrem Alter und Aussehen, sondern sind auch im Hinblick auf ihr Tragsystem zur Über- spannung der Elbe von Grund auf verschieden. Wie kann es sein, dass beim „Blauen Wunder“ kein Pfeiler im Fluss steht? Warum muss die Brücke in Niederwartha so hoch sein? Was sind die Ursachen und welche Größen spielen dabei eine Rolle?

Im Rahmen des Schülerpraktikums der MANOS waren drei Schüler der 8. Klasse zu Gast, die mit Hilfe des Computers untersucht haben, wie sich unterschiedliche Tragsysteme verhalten, nachdem sie in einer kleinen Exkursi- on die Brücken vorab besichtigt hatten. Ziel war es zu ermitteln, welchen Einfluss die Geometrie und das Material der einzelnen Elemente auf das Tragverhalten der Brückenbauwerke haben. Dafür mussten vereinfachte Modelle zunächst erstellt, berechnet und anschließend miteinan- der verglichen werden.

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm,
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Dipl.-Ing. Robert Zobel

Numerische Simulation der Brücken am Computer
| Foto: Robert Zobel



Gestaltung des Posters für die Abschlusspräsentation
| Foto: Robert Zobel



PREISE UND EHRUNGEN

PRIZES AND HONORS

Traditionell werden am Tag der Fakultät Bauingenieurwesen nicht nur die Zeugnisse für die Absolventinnen und Absolventen überreicht, sondern auch besondere Leistungen gewürdigt. „Wir danken den Stiftern sehr, dass sie sich, teilweise schon jahrelang, so engagieren und dadurch unsere Studentinnen und Studenten besonders motivieren!“ sagte Prof. Herle. Der mit 3.000 Euro dotierte Gottfried-Brendel-Preis wird von einem der führenden Unternehmen der Branche gestiftet, der Bilfinger SE. Ausgezeichnet werden herausragende Projektarbeiten auf dem Gebiet des konstruktiven Ingenieurbaus. In diesem Jahr hatte sich die Jury für zwei gleichwertige erste Preise und einen Sonderpreis entschieden, die Dr. Horst Arnold verlieh. Die Preisträger wurden vom Institut für Massiv-

Traditionally, the day of the faculty of civil engineering is not only for handing certificates to the graduates but also for honoring special performances. "We very much thank the sponsors, who have for years been committed to especially motivating our students," says Prof. Herle. The award Gottfried-Brendel-Preis, which is endowed with 3,000 euros, and was funded by one of the leading companies in the sector, Bilfinger SE. The prize honors outstanding projects in the field of engineering and construction. This year, the jury decided on two equivalent first prizes and one special prize, which were conferred by Dr. Horst Arnold. The prize winners were supervised by the Institute of Concrete Structures. Honored were Kristina Farwig for her thesis "Sanierung von Holzbalk-

Verleihung des Gottfried-Brendel-Preises beim Tag der Fakultät Bauingenieurwesen 2016 |
Award of the Gottfried Brendel prize at the day of the faculty civil engineering 2016 | Photo: Ulrich van Stipriaan



bau betreut. Geehrt wurden Kristina Farwig für ihre Arbeit „Sanierung von Holzbalkendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise“ sowie Cäcilia Karge für ihre Arbeit „Entwurf und Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe in Hamm“.

Das Schlaun-Forum e.V. lobt jährlich Wettbewerbe als Ideenwettbewerbe aus. Mit dieser Initiative beabsichtigt das Schlaun-Forum, die kulturelle Infrastruktur in Nordrhein-Westfalen zu fördern und hat sich gleichzeitig die Förderung junger Planer in den Fachgebieten Städtebau, Landschaftsplanung, Architektur und Bauingenieurwesen als Aufgabe gestellt. Für zukunftsorientierte Planungsaufgaben sollen die Teilnehmer einerseits innovative, nachhaltige Lösungen aufzeigen, andererseits mit ihren Lösungen den Stadt- und Landschaftsraum in NRW weiterentwickeln und gestalten (www.schlaun-wettbewerb.de, www.facebook.com/schlaunwettbewerb). In der Kategorie Ingenieurbau ging der mit 3.000 Euro dotierte 1. Preis an Johann Lang für seinen Entwurf „Brücken mit Schwung“, welchen er im Rahmen seiner Projektarbeit am Institut für Massivbau entwickelt hat. „Die Arbeit wird ausgezeichnet für die konstruktiv überzeugend entwickelten und gestalteten Brücken, die Innenstadt und Lippeaue idealtypisch verbinden. Der Verlauf der Brücken entspricht den wichtigen Wegebeziehungen und fügt sich hervorragend in den Landschaftsraum“, begründete die Jury ihre Entscheidung.

entdecken in Holz-Beton-Verbundbauweise," as well as Cäcilia Karge for her thesis "Entwurf und Bemessung einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal und die Lippe in Hamm."

The Schlaun-Forum e. V. hosts an annual competition: 'Schlaun-Wettbewerb', which rewards innovation among young engineers. With this initiative, the Schlaun-Forum intends to promote the cultural infrastructure in North Rhine-Westphalia, while simultaneously supporting young innovators in the field of urban planning, landscape planning and architecture and civil engineering.

Keeping the future in perspective, the participants must come up with innovative and sustainable solutions. They can then apply their solutions to develop and design the urban and landscape zone in NRW (www.schlaun-wettbewerb.de, www.facebook.com/schlaunwettbewerb). Johann Lang won the first prize, along with 3,000 Euros, in the engineering category with his design 'Brücken mit Schwung', which he developed during his project work at the Institute of Concrete Structures. "His paper is honored for its convincing, constructively developed and designed bridge, that is ideal for connecting the city center with the Lippeaue. The route of the bridge matches the important paths, and it fits perfectly into the landscape," the jury announced when justifying their decision



Johann Lang präsentiert seinen Wettbewerbsbeitrag beim Schlaun-Fest im Festsaal des Erbdrostenhofes Münster |
Johann Lang presents his competition contribution with the Schlaun celebration in the festival room of the Erbdrostenhofes Münster | Photo: Matthias Echelmeyer



OTTO-MOHR- LABORATORIUM

*OTTO MOHR
LABORATORY*

TESTEN AUF HÖCHSTEM NIVEAU

TESTING AT THE HIGHEST LEVEL

Das Otto-Mohr-Laboratorium ist eines der am modernsten und am besten ausgestatteten Versuchseinrichtungen im Bereich des Bauwesens in Sachsen. Bereits vorhandene sowie regelmäßig neu angeschaffte Maschinen und Gerätschaften sowie deren regelmäßige Prüfung und Kalibrierung garantieren einen hohen Standard bei der Prüfung und Versuchsdurchführung, und dies trotz der rasanten Entwicklung des Bausektors. Das Otto-Mohr-Laboratorium besteht als Versuchshalle des konstruktiven Ingenieurbaus seit mittlerweile 40 Jahren, seit 30 Jahren ist es unter dem heutigen Namen bekannt. Das Otto-Mohr-Laboratorium führt neben Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden – und hier vorrangig für das Institut für Massivbau – als technischer Dienstleister für Firmen und andere Fakultäten unserer Universität, aber auch für auswärtige Forschungseinrichtungen, Prüfungen im Bereich der zerstörungsfreien wie auch der zerstörenden Versuche durch. Darüber hinaus können wir auf langjährige Erfahrungen bei der Untersuchung von Bauwerken im Auftrag für öffentliche und private Bauherren, Ingenieure und Architekten, Behörden, Verbände sowie für das Baugewerbe und die Bauindustrie zurückgreifen.

Neben üblichen Prüfungen, wie z. B. statische Druck- und Zugversuche an Kleinproben, oder Tests an großen Bauteilen ist das Otto-Mohr-Laboratorium in der Lage, auch ungewöhnliche oder neuartige Prüfbereiche des Bauwesens abzudecken. An dieser Stelle seien beispielhaft die Untersuchung von Baustoffen oder Bauteilen unter Anprall- bzw. Impaktbeanspruchungen und die Schwingungsanalyse an Bauteilen, in Gebäuden oder bei Brückenbauwerken genannt.

Ein Spezialgebiet des Otto-Mohr-Laboratoriums sind gutachterliche Bewertungen anhand von In-situ-Versuchen, z. B. von Stützen, Decken und Wänden in Neu- und Bestandsbauten, von histo-

The Otto Mohr Laboratory (short: OML) is one of Saxony's most modern and best equipped laboratories in the field of construction. The testing machines and testing equipment is audited and calibrated regularly. In addition, a high standard of testing is guaranteed by a steady expansion of the portfolio. The laboratory as an experimental hall of the constructive engineers at TU Dresden was established more than 40 years ago. The name 'Otto Mohr Laboratory' exists since nearly 30 years. The OML offers services for all university institutions, especially the Institute of Concrete Structures, and non-university institutions and companies. The service offer includes e.g. destructive and non-destructive examination of building materials or construction components. We have many years of experience in examination of constructions that have been undertaken for public and private organisations, institutions and associations, companies, engineers and architects, public and private clients and construction industry.

The range of service includes common tests like static pressure and tensile tests on small samples, tests on large scale components and tests under special loading conditions like multi-axial, cyclic, long-term or impact loading.

As a special field, the Otto Mohr Laboratory carries out expert evaluations based on in-situ tests on e.g. beams, ceilings and walls at new, old or historical buildings or on bridge structures. Here, we have special knowledge with regard to existing bridges in the context of instruction and implementation of the German recalculation guideline using experimental methods or valuation with respect to the risk of stress corrosion cracking.

rischen Gebäuden sowie an Brückenbauwerken. Gerade die Untersuchungen an Brücken gewinnen derzeit immer mehr an Bedeutung, da im Zuge der Einführung der Nachrechnungsrichtlinie die Bewertung von Bestandsbrücken mit experimentellen Methoden oder auch die Bewertung hinsichtlich der Gefahr von Spannungsrisskorrosion eine immer größere Rolle spielen.

Carbonbetonproben |
Carbon concrete samples
| Photo: Ulrich van Stipriaan



Auszugversuch an Carbonbeton |
Pull-out test on a carbon concrete specimen
| Photo: Ulrich van Stipriaan



Zweiachsender Split-Hopkinson-Bar | Biaxial split-Hopkinson bar | Photo: Ulrich van Stipriaan



LEISTUNGEN

SERVICES

Unser Leistungsangebot umfasst sowohl die Durchführung von standardisierten Materialprüfungen als auch die Neuentwicklung von Versuchsaufbauten für spezielle Prüfaufgaben, die nicht mit genormten Tests gelöst werden können. Wir besitzen langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der zerstörenden und zerstörungsfreien Materialprüfungen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt liegt bei Planung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen. Weiterhin verfügen unsere Mitarbeiter über umfangreiche Erfahrungen mit Textilbeton. Das betrifft sowohl die Herstellung neuer Bauteile als auch die Ausführung von Verstärkungsarbeiten. Nachfolgend wurde ein Auszug aus unserem Leistungsangebot zusammengestellt.

Our range of services includes the execution of standardized material tests as well as the new development of test setups for special test tasks, which cannot be solved with standardized tests. We have many years of experience in the fields of destructive and non-destructive material testing. A further focus is on planning, carrying out and evaluating experimental load bearing capacity analyses. Furthermore, our employees have extensive experience with textile reinforced concrete. This applies to the production of new components as well as the execution of strengthening work. An extract of our offer is compiled below.

Materialprüfungen an Prüfkörpern unterschiedlicher Geometrie und Beschaffenheit Material tests on test specimens of different geometry and composition

ZERSTÖRUNGSFREIE MATERIALPRÜFUNG (Auswahl) NON-DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING (examples)

Kraft-, Verschiebungs- und Dehnungsmessung inkl. Photogrammetrie
Measurement of forces, displacements and strains including photogrammetry
Kriech- und Schwindversuche | Creep and shrinkage tests
Dauerstandversuche | Long-time tests
Bewehrungssuche | Locating of steel reinforcement
(Video-)Endoskopie | (Video) Endoscopy

ZERSTÖRENDE MATERIALPRÜFUNG (Auswahl) DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING (examples)

Tests bei statischer und dynamischer Belastung | Static and dynamic load tests
Ein- und mehraxiale Druck- und Zugfestigkeit
Uni- and multiaxial compression and tensile strength tests
Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl | Determination of modulus of elasticity and Poisson's ratio
Bruchmechanische Kennwerte | Properties for fracture mechanics
Verbundversuche | Bond tests

Dienstleistungen für die Industrie Service for industrial partners

Neuentwicklung von Versuchsaufbauten zur Prüfung von Baustoffen und Bauprodukten
Development of special test set-ups for the testing of building materials and construction products

Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Technologietransfer
Execution of research and development work, technology transfer

In-Situ-Versuche an Neu- und Bestandsbauten In-situ tests

Planung, Durchführung und gutachterliche Bewertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen an Neu- und Bestandsbauten | Planning, execution and expert assessment of experimental load bearing capacity tests on new and existing buildings

Bauwerks- und Bauteilprüfungen bei Schadensfällen oder geplanten Umnutzungen
Structural and component tests in case of damage or planned reuse

10-MN-Säulenprüfmaschine mit Aufspannfeld | 10 MN testing machine with strong-floor | Photo: Ulrich van Stipriaan



AUSSTATTUNG

EQUIPMENT

Unser Labor verfügt über eine umfangreiche Ausstattung für die Herstellung von Normalbeton und von verschiedensten Sonderbetonen mit und ohne Bewehrung. Eine Holzwerkstatt und eine Metallwerkstatt erlauben zudem die Bearbeitung anderer Werkstoffe.

Aktuell stehen uns ein 126 m² großes Aufspannfeld, eine große Anzahl von Prüfportalen und Prüfzylindern unterschiedlichster Geometrie und Leistungsfähigkeit zwischen 10 kN und 10 MN und verschiedene Spezial-Prüfmaschinen zur Verfügung. Für Bauwerksprüfungen ist eine große Anzahl von Belastungsrahmen vorhanden. Wir verfügen über eine umfangreiche Mess- und Speichertechnik zur Datenerfassung, verschiedenste Messgeräte und Messmittel einschließlich Photogrammetrie und Hochgeschwindigkeitskameras.

Our laboratory has an extensive equipment for the production of normal strength concrete and various special concrete types with and without reinforcement. Also, a wooden workshop and a metal workshop allow us to work with other materials.

At the moment, we have a 126 m² strong floor with anchor points, a large number of testing machines and equipment, several cylinder testing machines for specimens with different geometry and with capacities ranging from 10 kN up to 10 MN, and various special testing machines. A large number of load frames are available for testing building elements. We have a comprehensive selection of measuring devices as well as devices for data acquisition and storage, a wide range of measuring instruments and measuring equipment including photogrammetry and high speed cameras.

Eine vollständige Liste finden Sie unter <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

You can find a complete list of the equipment on <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

Probenherstellung

- Stahl-Standardformen und -schalungen für die üblichen Standardtests für Betone und Textilbeton | verschiedene Spezialformen und Sonderanfertigungen
- Mischer für Betone und Zemente, Fassungsvermögen 12–350 Liter | Geräte und Apparaturen zur Verdichtung inkl. Nadelprüfgerät und Porenvolumen-Messgerät | Klimakammern und Klimaschränke
- Ausrüstung zur Betonbearbeitung wie Betonsägen, Kernbohrgeräte, Bohrhämmer und Doppel-Planschleifmaschine

Sample production

- Standard steel molds and formwork for the standard concrete and textile reinforced concrete tests | various specially shaped and custom-made molds and products
- Concrete and cement mixers, with capacities of 12 to 350 liters | equipment for concrete consolidation and related measurements, including needle testing and pore volume measuring device | climatic chambers and cabinets
- Concrete cutting equipment such as concrete saws, core drilling machines, rotary hammers and double-surface grinding machine

Aufspannfelder und Portale

- 2 Aufspannfelder mit 1,5-m-Raster und bis zu 1 MN Kapazität je Prüfportal
- Portale für die Prüfung von Einzelelementen bis zu 10 t Gewicht und 5 m Höhe möglich | mehrere Steuerpulte

Strong-floor, testing frames, attachments

- 2 strong floor testing areas with anchor points on a 1.5 m grid | up to 1 MN capacity per testing frame
- Frames for the testing of individual elements with weights up to 10 t and heights up to 5 m | various control stations

Prüfmaschinen und -vorrichtungen für statische Standardtests

- Diverse Prüfmaschinen für statische Druck-, Zug- und Biegeversuche | maximale Lasten: 6.000 kN Druck, 1 MN Zug | variable Prüfraumhöhen bis max. 4,0 m lichte Einbauhöhe

Testing machines and devices for standard static tests

- Various testing machines for compression, tensile and bending tests | maximum loads: 6,000 kN pressure, 1 MN tension | variable clearance heights up to 4 m

Prüfmaschinen für statische und dynamische Zug-, Druck- und Biegeprüfungen

- Prüfzylinderanlage mit 1.000 kN maximale Lasthöhe
- Pulsatoranlage mit bis zu 6 Hz Lastwechselfrequenz
- Hydropulsprüfmaschine mit zwei Belastungsrahmen; Rahmen 1: statische Maximallast: 1.000 kN Druck bzw. Zug; Rahmen 2: statische Maximallast: 250 kN Druck bzw. Zug; dynamische Maximallast: jeweils 80 % vom statischen Wert
- Z 100: statische Maximallast: 100 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 80 kN Druck bzw. Zug

Testing machines for standard static and dynamic tension, compression and bending tests

- Servo-hydraulic test bench with a maximum load of 1,000 kN
- Test bench for cyclic loading with up to 6 Hz load frequency
- Hydropuls testing machine with two load frames; frame 1: static maximum load: 1,000 kN compression or tension; frame 2: static maximum load: 250 kN compression or tension; dynamic maximum load: 80 % of the static value
- Z 100: static load (maximum): 100 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 80 kN compression or tension

Auszugversuch an Bewehrungsstahl | Pull-out test on steel reinforcement | Photo: Heiko Wachtel



Spezielle Prüfmaschinen

- Triaxial-Prüfmaschine: Lasten bis 500 kN Zug oder 5.000 kN Druck je Achse | Lasteinleitung mit starren Platten oder Belastungsbürsten unterschiedlicher Geometrie | Prüfkörpergröße, Standard: 10er Würfel, max. 30er Würfel
- Biaxial-Prüfmaschine: max. 90 kN Zug je Achse
- Triaxialzelle: vertikal max. 125 kN Druck, radial max. 5 MPa | zylindrische Proben mit $\varnothing = 2,54$ cm und $h = 5,08$ cm | Temperaturen bis 150 °C möglich
- Horizontaler 20-MN-Belastungsrahmen: Maximallast: derzeit 10 MN (auf 20 MN aufrüstbar) | 5,0 m maximale Prüflänge (freie Länge) bei Druck- und bis zu 7,50 m bei Zugversuchen
- 10-MN-Bauteilprüfmaschine: Prüfkörpergröße bis $B \times L \times H = 2,5 \times 15,0 \times 3,7$ m | derzeit 60 t maximales Probengewicht (auf 120 t aufrüstbar)
- Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | zylindrische Prüfkörper mit $\varnothing = 50$ mm und $l_{\max} = 150$ mm bei Druck- und $l_{\max} \geq 200$ mm bei Spallationsversuchen | kinetische Energie des Impaktors: bis zu 1,8 kJ
- Zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | Prüfkörper: $60 \times 60 \times 60$ mm | kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ
- Kleiner Fallgewichtversuchsstand: 5,0 m maximale Fallhöhe | 49,1 kg maximales Fallgewicht
- Großer Fallversuchsstand (Fallturm) mit Fallschlitten- und Beschleunigungssystem: $H_{\max} = 11,0$ m; Fallschlittensystem: maximales Fallgewicht 2.500 kg, Beschleunigung bis 15 m/s | Beschleunigungssystem: maximales Fallgewicht 160 kg, Beschleunigung bis 160 m/s
- Versuchsstände für den Test von Platten und Fassaden (bis $2,4 \times 2,4$ m) | Kriechstände | Ausstattung für Tests mit variabler Temperaturbeanspruchung

Special testing machines

- Triaxial testing machine: loads up to 500 kN in tension or 5,000 kN in compression per axle | loads can be introduced using rigid plates or load-bearing brushes of different geometries | test specimen: cubes with 10 cm edge length (standard), max.: 30 cm cubes
- Biaxial testing machine: max. 90 kN tension per axle
- Triaxial cell: 125 kN maximum vertical compression and up to 5 MPa radial pressure | specimen: cylindrical samples with a diameter of 2.54 cm and a height of 5.08 cm | heating up to 150 °C possible
- Horizontal 20 MN load frame: 10 MN current maximum load (can be upgraded to 20 MN) | maximum (free) test length: 5 m for compression tests and up to 7.50 m for tensile tests
- 10 MN testing machine: specimen sizes up to 2.5 m (width) $\times$ 15 m (length) $\times$ 3.7 m (height) | currently maximum weight of specimens: 60 t (can be upgraded to 120 t)
- Split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate of 35 m/s | for testing cylindrical test specimens with $\varnothing = 50$ mm and ≤ 150 mm length for compression tests resp. ≤ 200 mm length for spallation tests | kinetic energy of the impactor can reach up to 1.8 kJ
- Biaxial split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate: 35 m/s | test specimen: $60 \times 60 \times 60$ mm | kinetic energy of the impactor: up to 1.8 kJ per axle
- Small drop weight test stand: 5.0 m maximum fall height | 49.1 kg maximum drop weight
- Large drop test rig (drop tower): 11 m maximum drop height | free falling impactors: maximum drop weight 2,500 kg, max. acceleration: 15 m/s | with acceleration system: maximum drop weight 160 kg and acceleration up to 160 m/s
- Test rigs for testing panels and facades (up to 2.4×2.4 m) | creep test bed | equipment for tests with variable temperatures is available

Ausrüstung für Bauwerksprüfungen

- Verschiedene Belastungsrahmen für In-situ-Prüfungen an Brücken, Decken, Stützen, Masten, Geländern etc.
- Ultraschallmessgerät | Profometer 3 (Bewehrungsartung) | (Video-) Endoskopie | Rückprallhammer | Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen

Messtechnik

- Messdatenerfassung mittels verschiedener Messverstärker wie MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8 | Vielstellenmessgerät: UPM100 | Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen | Geräte zur Fernüberwachung von Messungen | AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Besondere Kameras: Hochgeschwindigkeitskameras Photron Fastcam SA5
- Nahbereichsphotogrammetrie: AICON-3D-System mit vier Kameras und Zubehör | GOM ARAMIS 3D- und 2D-System mit Kameras von 5 MP und 12 MP, auch mit Hochgeschwindigkeitskameras und externen Bildserien nutzbar
- Verschiedenste Kraftmessdosen bis 10.000 kN
- Übliche Messmittel | Faser-Bragg-Gitter | Beschleunigungsaufnehmer, dynamische Kraftsensoren, Extensometer | Thermoelemente und Feuchtesensoren (Luftfeuchte) und Anemometer | Seilzugsensoren | Laservibrometer | Datenlogger
- Geräte für Vermessungsarbeiten inkl. Neigungssensor und Inclinomometer | mechanische Längenmessgeräte etc.

Sonstige Ausrüstung

- Brückenkrane in den Laborgebäuden | Gabelstapler (Tragkraft: 3 t) | Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft | Geräte zum Anheben und Verschieben von bautechnisch relevanten Lasten bis 120 t durch Einsatz hydraulischer Hebetechnik
- Schweißerausrüstung (elektro und autogen) | mobile Druckölggregate | Sandstrahl-aggregat

Equipment for in-situ tests of structures

- Various load frames for in-situ tests on bridges, ceilings, columns, masts, railings etc.
- Ultrasonic measuring device; reinforcement detector (Profometer 3) | (video) endoscopy | rebound hammer | equipment for drilling concrete cores

Measuring technique

- data collecting using various measuring amplifiers such as MGC, MGCplus, Quantum MX840 and Spider 8 | UPM100 | Transient recorder for measurements in high-speed tests | devices for remote monitoring of measurements | AOS measuring device for fiber bragg grating sensors
- Special cameras: high speed cameras Photron Fastcam SA5
- Close-range photogrammetry: AICON 3D system with four cameras and accessories | GOM ARAMIS 3D & 2D with 5 MP and 12 MP cameras, also useable with highspeed cameras and external picture series
- Various force measuring devices up to 10,000 kN
- Standard measuring instruments | fiber bragg gratings | accelerometers, dynamic force sensors, extensometers | thermocouples and humidity sensors and anemometers | tension cable sensors | laser vibrometer | data logger
- Devices for surveying work including inclination sensor and inclinometer | mechanical length measuring devices, etc.

Other equipment

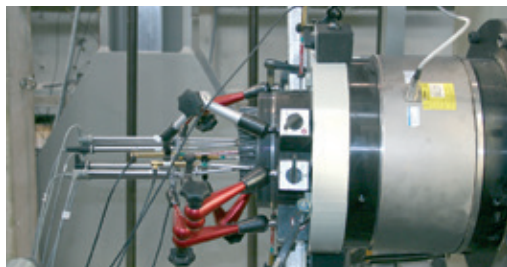
- Lift cranes within the laboratory facilities | forklift with a lifting capacity of 3 t | strong-wagons with load carrying capacity up to 60 t | hydraulic lifting technology devices for lifting and moving elements with typical construction weights of up to 120 t.
- Welding equipment (electrical and autogenous) | mobile oil pressure aggregates | sandblasting unit

IM FOCUS: 20-MN-BELASTUNGSRAHMEN

IN THE FOCUS: 20 MN LOAD BEARING FRAME



Der 20-MN-Belastungsrahmen | 20 MN load bearing frame | Photo: Sven Hofmann



Messtechnik bei einem Spanngliedertest |
Measurement equipment at a tendon test
| Photo: Silke Scheerer



Fassung der einzelnen Spannstahlilitzen |
Wedge anchoring of prestressing strands
| Photo: Silke Scheerer

Seit 2009 gehört ein Belastungsrahmen mit einer Kapazität von 20 MN – kurz: 20-MN-Belastungsrahmen – zur Ausstattung des Otto-Mohr-Laboratoriums. Die aktuelle Konfiguration erlaubt Druck- und Zugversuche in einem Lastbereich von bis zu 10 MN. Eine Aufrüstung auf 20 MN ist möglich. Der horizontal gelagerte Prüfrahm ist jeweils 2,00 m breit und hoch und 6,50 m lang zzgl. Hydraulikzylinder und Einspannvorrichtung. Er wiegt stolze 73 t und eignet sich für anspruchsvolle Material- und Bauteilprüfungen sowohl in der Qualitätskontrolle als auch im Rahmen von Forschungsprojekten. Im 20-MN-Belastungsrahmen können zum Beispiel an großen, sehr schlanken oder auch sperrigen

Since 2009, a load-bearing frame with a capacity of 20 MN has been part of the equipment of the Otto Mohr Laboratory. The current configuration allows pressure and tensile tests in a load range of up to 10 MN. An upgrade to 20 MN is possible. The horizontally mounted test frame is 2 m wide and 6.50 m long plus hydraulic cylinder and clamping device. It weighs 73 t and is suitable for ambitious material and component testing in quality control as well as in the context of research projects. In the 20 MN loading frame, for example, the load-bearing capacity, fatigue strength and characteristics of usability can be determined on large, very slim or even bulky samples.

Proben die Tragfähigkeit, die Ermüdungsfestigkeit und Kenndaten der Gebrauchstauglichkeit bestimmt werden.

Je nach Kundenspezifikation können Versuche nach unterschiedlichen Normen und Richtlinien (z. B. EAD16) sowohl statisch als auch dynamisch durchgeführt werden, beispielsweise an Drähten, Litzen, Stäben und Kupplungen oder an Spann- und Schrägseilsystemen. Dabei werden Messgrößen wie Seildehnung, Ankerkopfverformung und Keil- bzw. Litzeneinzüge kontinuierlich erfasst. Die Maschinensteuerung ermöglicht im Rahmen des maximal verfügbaren Hubes des Hydraulikzylinders eine Kraft-, Weg- oder Dehnungsregelung. Die Prüflast wird ausgehend von dem Hydraulikzylinder, der hinter einer massiven Stahlplatte verankert ist, über einen Gewindestab mit einem Durchmesser von maximal 63,5 mm direkt auf den Prüfkörper bzw. eine Adapterkonstruktion zur Lasteinleitung übertragen. Da Spannglieder anders verankert werden können, sind hier Probendurchmesser von bis zu 22 cm je Spannkabel möglich. Die Prüfung kleinerer Proben ist unter Verwendung von Adapterteilen ebenfalls möglich. Vier Schutzrohre mit einem Durchmesser von 400 mm gewährleisten während der Versuchsdurchführung die Sicherheit von Personal und Geräten. Dauerschwingversuche können mit einer Höchstlast von bis 8 MN und einer Frequenz von bis zu 5 Hz, je nach erforderlichem Dehnungsweg, durchgeführt werden. Während der dynamischen Versuche können die üblichen Kenngrößen wie Lastwechselzahl, Dehnungen oder Verformungen, bspw. im Verankerungsbereich, messtechnisch erfasst werden. Eine Kombination mit verschiedenen Messgeräten und -methoden, bspw. Photogrammetrie, ist problemlos möglich.

Depending on customer's specifications, tests can be carried out statically or dynamically according to different standards and guidelines (e.g. EAD16), for example on wires, strands, rods and couplings, or on cable systems. Measuring variables such as cable strain, anchor head deformation and wedge or strand movements can be recorded continuously. The machine control allows a force, displacement or expansion controlled test procedure within the maximum available stroke of the hydraulic cylinder. The test load is transmitted from the hydraulic cylinder, which is anchored behind a solid steel plate, directly to the test specimen via a threaded rod with a diameter of up to 63.5 mm or an adapter construction for the load introduction. In addition, the test of tendons is possible with a sample diameter of up to 22 cm. The testing of smaller samples is also possible using adapter parts. Four protective tubes with a diameter of 400 mm each ensure the safety of personnel and equipment during the test execution. Long-time swing tests can be carried out with a maximum load of 8 MN and a frequency of up to 5 Hz, depending on the required expansion. During dynamic tests, the usual parameters can be measured, such as the change of the load, elongation or deformation, for example in the anchoring area. A combination with different measuring devices and methods, for example photogrammetry, is possible without any problems.

Technische Informationen | Technical information

Maximale statische Prüfkraft Maximum static test force	20 MN (derzeit currently 10 MN)
Maximale dynamische Prüfkraft Maximum dynamic test force	8 MN
Maximale Prüffrequenz Maximum test frequency	5 Hz
Maximaler Kolbenweg Maximum piston stroke	400 mm
Gesamthöhe Rahmen Overall height of the frame	2.000 mm
Gesamtlänge Rahmen Overall length of the frame	6.500 mm
Gesamtgewicht Rahmen Total weight of the frame	73.000 kg

DIE BALUSTRADEN DER „STILLEN MUSIK“

THE BALUSTRADES OF THE 'SILENT MUSIC'



Versuchsaufbau auf der westlichen Barocktreppe |
Test set-up at the western stair
| Photo: Sabine Wellner

Die „Stille Musik“ ist eine beeindruckende und weiträumige barocke Treppenanlage im Barockgarten Großsedlitz bei Heidenau nahe Dresden, welche nach erfolgreicher Sanierung für die öffentliche Nutzung wieder freigegeben werden soll. Da ein rechnerischer Nachweis der Normbelastung nicht erbracht werden konnte, wurde die Standsicherheit der Balustraden gegenüber einer horizontalen Belastung an der westlichen Treppe experimentell getestet. Bei Belastungsversuchen dieser Art werden in der Regel äquivalente Einzellasten eingetragen, da eine horizontale Linienlast versuchstechnisch nur schwierig zu realisieren ist.

Die vier Belastungsrahmen wurden sehr massiv ausgeführt. Zum einen sollte durch ein hohes Eigengewicht ein Widerlager für die einzuleitende Belastung geschaffen werden. Zum anderen sollte verhindert werden, dass sich der Rahmen während der Belastung von den Stufen auf der Belastungsseite abhebt oder gar kippt bzw. verkantet, da eine Rückverankerung in den Stufen, z. B. mittels Dübeln, nicht möglich war.

The 'silent music' is a large and impressive sandstone stairway in the baroque garden Großsedlitz near Heidenau. After successful restoration, it should be released for public use again. A problem was that a computational proof of the standard loads could not be provided. Therefore, the stability of the balustrades of the western stair against an horizontal loading was experimentally tested with the help of a special loading experiment. In such loading experiments, it is difficult to realize a horizontal line load. Therefore, structural members to be tested are usually loaded with equivalent single loads.

For the test at Großsedlitz, four massive steel loading frames were constructed. On the one hand, a high dead load acts as counter bearing; on the other hand, it should be prevented that the loading frames lift off or twist during the experiment. A re-anchorage in the sandstone steps, e.g. with dowels, was not possible.

An jedem Rahmen wurde auf Höhe des Handlaufs ein Druckzylinder (Hydraulikpresse) angebracht, der bei der Prüfung die Last horizontal in den Stoß der Handlaufelemente einleitet. Um eine lediglich punktuelle Belastung auszuschließen, wurde das Profil des Handlaufs im Vorfeld des Versuchs nachgebildet und ein passgenaues Negativ für die Lasteinleitung erstellt. Mit einer Kraftmessdose wurde die eingetragene Last kontrolliert. Während der Belastung der Balustrade zeichneten zwei induktive Wegaufnehmer die Verformungen je Stoßpunkt auf.

Es wurden insgesamt fünf Belastungszyklen durchgeführt, um das Tragverhalten der Balustrade schrittweise und auch bei wiederholter Einwirkung beurteilen zu können. Während der Belastungszyklen wurden keine nennenswerten bzw. nur sehr geringe plastische Verformungen festgestellt, welche auf eine bleibende Schädigung der Balustrade hingedeutet hätten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Balustrade über eine Tragfähigkeit verfügt, die über das vom Prüfstatiker geforderte Maß hinausgeht. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass bei gleicher baulicher Ausführung und vergleichbarer Geometrie auch die Balustrade der östlichen Treppe nach der Sanierung eine ausreichende Tragfähigkeit gegenüber einer horizontalen Belastung gemäß DIN 1055-3:03/2006 aufweist.

At every frame, one hydraulic pressure cylinder was applied in the height of the handrail. With it, a horizontal compression load was induced during the test at the point, where two sandstone handrail elements were connected. To prevent a concentrated punctual loading, a special formed load application element was constructed and manufactured of metal, concrete and wood, complemented by an elastic rubber layer in the contact zone between loading point and sandstone surface. The introduced load was controlled by a load cell. During loading, the deformations of the balustrade were recorded by two inductive displacement transducers directly beside the loaded joints.

All in all, five loading cycles were performed to evaluate the structural behaviour of the balustrade step by step and also under repeated loading. No appreciable plastic deformations were found resp. only very slight ones. Nothing of it indicates a permanent damage of the balustrade.

In summary, it can be stated that the balustrade has a load bearing capacity that exceeds the degree required by the inspecting structural engineer. At the same time, it can be assumed, that the balustrade of the eastern staircase with the same structural design and comparable geometry after its renovation has also a sufficient load bearing capacity against a horizontal load according to DIN 1055-3: 03/2006.

Hydraulikzylinder und Passstück des Handlaufs |
Detail of the load application point
| Photo: Sabine Wellner



- ▶ **Titel | Title**
Belastungsversuch zur experimentellen Bestimmung der Standsicherheit der Balustraden an der Stillen Musik im Barockgarten Großsedlitz
Load test to determine experimentally the stability of the balustrades on the Silent Music in the baroque garden Großsedlitz
- ▶ **Auftraggeber | Client**
Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden I, Gruppe PBI, Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**
09.2016
- ▶ **Leiter | Project leader**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Tino Jänke, Michael Liebe, Maik Patricny, Andreas Thieme, Heiko Wachtel, Bernd Wehner

BETON UNTER SEHR HOHEN LASTWECHSELZAHLEN

CONCRETE UNDER HIGH LOAD CYCLES

Für die Bemessung für zyklische Beanspruchungen werden i. d. R. Materialkennwerte, ermittelt nach $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln (LW), herangezogen. Für Windenergieanlagen ist dies aber bspw. nicht ausreichend. Hier werden schon in relativ kurzer Zeit deutlich höhere Lastwechselanzahlen N registriert. Dies wirft die Frage nach der Anwendbarkeit bekannter Bemessungswerte auf, denn bisher konnte für Beton keine Dauerfestigkeitsgrenze nachgewiesen werden. Deshalb sind gezielt Versuche für sehr hohe Lastwechselzahlen von $N \geq 10^7$ notwendig, die aber, in der bisher üblichen Art und Weise durchgeführt, extrem zeitaufwendig und kostspielig sind. In einer Machbarkeitsstudie wurden daher in modifizierten Versuchsaufbauten Betonwürfel unter zyklischer Belastung geprüft, um experimentell zu untersuchen, ob die außerordentlich lange Dauer für derartige Versuche reduziert werden kann.

Für die Tests wurden Würfel aus Normalbeton mit einer Kantenlänge von 10 cm hergestellt. In einem ersten Arbeitspaket wurden kraftgesteuerte Druckschwellversuche mit

For the design of concrete structures under cyclic loading, it is common to use characteristic material properties determined after $2 \cdot 10^6$ load cycles. In the case of wind energy plants, significantly higher load exchange numbers N occur in a relatively short time. For this reason, we must ask ourselves whether known design values can be used, as no permanent strength limit could be detected for concrete until today. According to current knowledge, specific tests for very high load cycles of $N \geq 10^7$ are necessary. In a feasibility study, concrete cubes under cyclic loading were tested in modified experimental set-ups in order to examine experimentally whether the extremely long duration for such experiments can be reduced.

For the tests, normal strength concrete was used. In the beginning, cubic specimens with 10 cm edge lengths were fabricated. In the first work package, force controlled compression tests with varying frequencies of 5, 20 and 30 Hz and approximately one million load cycles were carried out to check if the

Belastungsfrequenzen von 5, 20 und 30 Hz durchgeführt, um den Einfluss der Frequenz auf die Betonermüdung zu untersuchen. Bei Versuchen mit ca. einer Million Lastwechseln wurde eine solche Frequenzabhängigkeit festgestellt, was sich mit neueren Erkenntnissen anderer Forscher deckt. Eine beliebige Frequenzsteigerung als Mittel zur Verringerung der Versuchsdauer muss folglich ausgeschlossen werden.

Weiterhin wurde untersucht, inwieweit eine Reduzierung der Gesamtversuchsdauer durch eine zeitgleiche Prüfung mehrerer Proben möglich ist. Die Probekörper wurden in Parallel- und in Reihenschaltung mit einer Frequenz von 5 Hz belastet. Während der weggesteuerten Prüfung dreier parallel angeordneter Würfel wurden Lastwechselzahlen von bis zu 3×10^7 ohne vorheriges Versagen einer oder mehrerer Probekörper erreicht. Der Versuchsaufbau mit mehreren Prüfwürfeln in Reihenschaltung erwies sich hingegen als ungeeignet, da beim Versagen eines Würfels aufgrund der nicht ausreichend sensiblen Maschinensteuerung Spannungsspitzen in die verbleibenden Proben eingeleitet wurden.

Begleitend wurde bei verschiedenen Frequenzen bis 30 Hz überprüft, ob sich die Proben infolge der zyklischen Belastung erwärmen. Dies war für den untersuchten Frequenzbereich bei den Würfeln aus Normalbeton nicht der Fall.

frequency influences the test results. Such an influence was observed. This result is in line with recent findings from other researchers. An arbitrary increase of the test frequency in order to reduce the duration of an experiment must therefore be excluded.

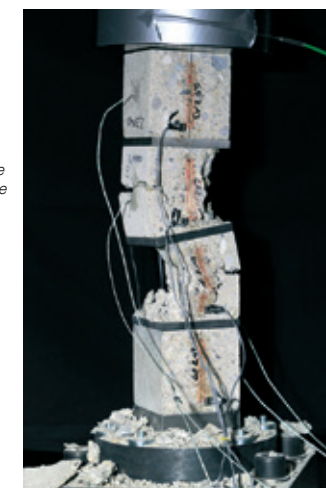
Furthermore it was investigated, if a reduction in the total test time is possible by a simultaneous testing of several samples. For this reason the test specimens were loaded in parallel and in series with 5 Hz. Load cycle numbers up to 3×10^7 were reached in tests of three parallel arranged cubes without a premature failure of one or more test specimens. In contrast, the experimental set-up with several test cubes in series was proven to be unsuitable. When one cube failed, stress peaks were introduced into the remaining samples due to an insufficiently sensitive machine control.

Accompanying, it was checked at different frequencies up to 30 Hz, whether the samples heat up as a result of the cyclic loading. This was not the case for the tested frequency range for the normal strength concrete samples.

Prüfwürfel nach 30 Millionen Lastwechseln | Cubic samples after 30 million load cycles | Photo: Doreen Sonntag



Belastungsprüfung von vier Würfeln in Reihenschaltung – das Versagen eines Würfels leitete das Versagen der restlichen Proben ein | Test of four cubes arranged parallel – the failure of one concrete cube initiated the failure of the others | Photo: Doreen Sonntag



- ▶ **Titel | Title**
Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen
Possibilities to speed up investigations for concrete fatigue under very high load cycles
- ▶ **Auftraggeber | Client**
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb), Berlin
- ▶ **Zeitraum | Period**
01.2012 – 04.2016
- ▶ **Leiter | Project leader**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dipl.-Ing. Robert Schneider

NICHTMETALLISCHE MECHANISCHE VERBINDUNGEN

NON-METALLIC MECHANICAL JOINTS

In der letzten Zeit hat sich das Interesse der Bauindustrie an Holz aufgrund von dessen Nachhaltigkeit, seiner Anpassungsfähigkeit und seiner ästhetischen Eigenschaften wieder deutlich erhöht. Dieser Trend zeigt sich beispielsweise bei Holzbauwerken zum Lagern aggressiver Stoffe wie Salz, Dünger und Chemikalien, denn Holz hat sich als sehr widerstandsfähiges Material gegenüber solch kritischen Umgebungsbedingungen im Gegensatz zu Stahl erwiesen. Allerdings ist die Tragfähigkeit von Holzkonstruktionen stark abhängig von der konstruktiven Gestaltung der Verbindungen, die meistens aus Stahlbauteilen zusammengesetzt sind. Somit hätte eine Verringerung der Menge an Metall, die innerhalb einer Holzstruktur verwendet wird, viele Vorteile, z. B. die Erhöhung der Dauerhaftigkeit, die Verringerung der Wärmebrückenbildung und ein geringeres Gewicht der Strukturen. Im Eurocode 5 sind Konstruktionshinweise für Anschlüsse enthalten, jedoch nur für mechanische Verbindungen aus metallischen und hölzernen Elementen. Empfehlungen oder Regeln für das Design von Verbindungen aus

In the last time, there has been renewed interest in timber in the construction industry because of its sustainability, adaptability and aesthetic properties. This trend can be seen in the case of warehouses for aggressive substances like salt, fertilizer or chemicals, which are built with timber as a very resistant material against such critical environmental conditions in contrast to steel. However, the load bearing capacity of large timber structures is strongly depending on the design of connections and joints, which are mostly constructed with steel components. Hence, reducing the amount of metal used within a timber structure has many advantages including durability, reducing thermal bridging and less weight of the structures. In Eurocode 5, design guidance for connections is provided, but this code only provides guidance for mechanical connections made of metallic and wooden components. The absence of design guidance for alternative connector materials is a restriction that should be removed. Therefore, in this study, by means of an

alternativen Werkstoffen fehlen, was eine Einschränkung für die Holzbauweise darstellt, die behoben werden sollte.

Daher wurde in einer Studie mittels eines experimentellen Programms und der Entwicklung numerischer und analytischer Modelle versucht, ein fundiertes Wissen für mechanische nicht-metallische Verbindungen bereitzustellen. Durch Experimente an kleinmaßstäblichen Proben wurden mögliche alternative Materialien für Verbindungsmittel wie glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), verdichtetes Furnierholz und Laminatfurnierholz in Form von Platten und Dübeln in verschiedenen Konfigurationen getestet. Für ein besseres Verständnis des Tragverhaltens und für die statische Überprüfung wurden analytische und numerische Modelle entwickelt. Die numerischen Modelle wurden anhand von experimentellen Ergebnissen validiert.

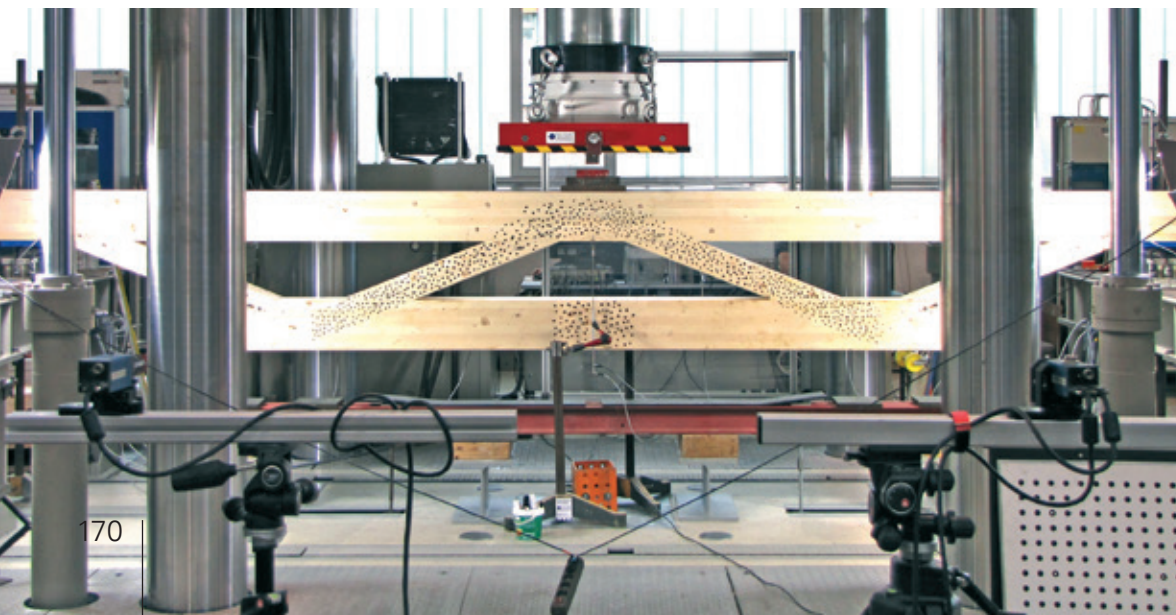
Im nächsten Schritt wurden im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden realitätsnahe großmaßstäbliche Tests an Fachwerkträgern, die ca. 6 Meter lang und 1 Meter hoch waren, durchgeführt. Die Daten aus den Tests wurden erfasst und analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination von GFK-Dübeln zusammen mit GFK-Platten im Vergleich zu Stahl-Stahl-Verbindungen nahezu dieselbe Tragfähigkeit aufweist und sich gleichzeitig duktil verhält. Daher kann zukünftig mit der Verwendung dieser Kombination ein robustes Verbindungssystem für zeitgemäße Anwendungen bereitgestellt werden.

experimental program and developing numerical and analytical models, it is tried to provide a sound knowledge for mechanical non-metallic connections. Through a small scale experimental testing program, potential materials – glass fibre reinforced plastics (GFRP), densified veneer wood and laminated veneer lumber – in the form of plates and dowels in different test configurations were surveyed and investigated. Analytical and numerical models were developed for a better understanding of the load-bearing behaviour and to perform static verifications. The models were validated based on the experimental results. In the next step, real scale tests (truss models were about 6 meter long and 1 meter high) in Otto-Mohr-Laboratory of the TUDresden have been performed. The data from tests are captured and analysed.

The results demonstrate that the combination of GFRP dowels with GFRP plates has almost same bearing capacity in comparison to the steel-to-steel connections and also have a more ductile behaviour. Therefore, use of this combination can provide a robust connection system for contemporary applications.

Holzfachwerk mit nichtmetallischen Verbindungen im 3-Punkt-Biegeversuch | Timber truss with non-metallic connections at 3-point bending test
| Photo: Siavash Namari



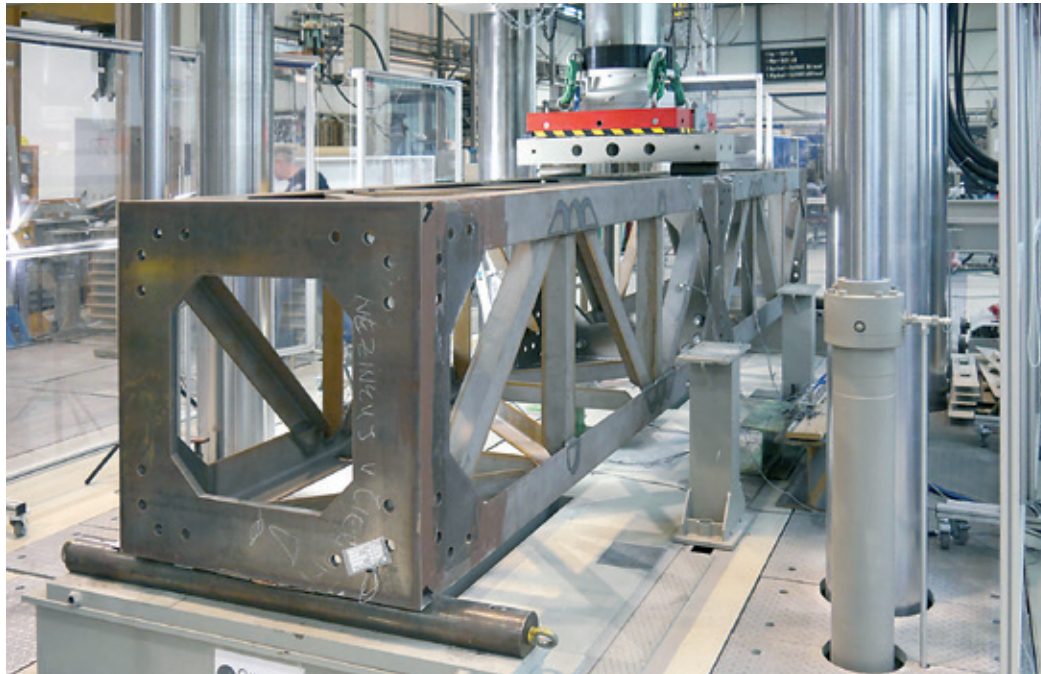
Durchbiegung des Holzfachwerks während des Biegeversuchs | Deflection of the truss during the bending test
| Photo: Siavash Namari



- ▶ **Titel | Title**
Nichtmetallische mechanische Verbindungen für Holztragwerke
Non-metallic mechanical joints for timber trusses
- ▶ **Auftraggeber | Client**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- ▶ **Zeitraum | Period**
07.2014 – 12.2016
- ▶ **Leiter | Project leader**
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller (Institut für Holzbau, TU Dresden)
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
M.Sc. Siavash Namari, Dipl.-Ing. Jörg Wehsener,
Dr.-Ing. Jens Hartig (Institut für Holzbau, TU Dresden)
- ▶ **Versuchsdurchführung | Experimental testing**
Tino Jänke, Bernd Wehner, Maik Patricny, Heiko Wachtel,
Doreen Sonntag
- ▶ **Projektpartner | Project partners**
STRAB Ingenieurholzbau Hermsdorf GmbH, Hermsdorf |
EBF Dresden GmbH, Dresden

FEM VERSUS EXPERIMENTELLER NACHWEIS

FEM VERSUS EXPERIMENTAL EVIDENCE



Stahlgitterbauteil in der 10-MN-Säulenprüfmaschine des Otto-Mohr-Laboratoriums | A steel lattice component in the 10 MN testing machine in our laboratory | Photo: Robert Schneider

2016 kam die LTB Leitungsbau GmbH auf das OML mit der Bitte zu, die Tragfähigkeit spezieller, geschweißter Stahlgitterbauteile mittels Dreipunktbiegeversuch zu ermitteln. Im Vorfeld war durch LTB das vollständige Repertoire an Berechnungsmodellen zu Rate gezogen worden, um die theoretische Tragfähigkeit des Bauteils zu ermitteln. Die Bandbreite der Berechnungen reichte von einfachen Fachwerkmodellen, berechnet mit RSTAB, über aufwendige händische Berechnungen nach Petersen bis hin zu detaillierten Modellierungen in Finite-Elemente-Programmen durch speziell geschulte Ingenieure.

Bekanntlich klaffen Theorie und Wirklichkeit teils weit auseinander. Streuende Materialeigenschaften, Verbindungen, herstellungsbedingte Imper-

In 2016, the LTB Leitungsbau GmbH came to us with the request to determine the load bearing capacity of a special, welded steel lattice component by means of a three-point bending test. Prior to this, the company had consulted the full repertoire of calculation models in order to determine the theoretical load bearing capacity of the component. The calculations ranged from simple truss models, calculated using the program RSTAB, over extensive calculations according to Petersen, to detailed modelling in finite element programs by specially trained engineers.

As is well known, theory and reality sometimes differ widely. Scattering material properties, not 100 % ideal connections, manufactur-

ing-induced imperfections and much more are subjected to certain uncertainties and – sometimes – difficult to grasp mathematically. By means of simplified models and partial safety factors for the design process, one wishes to ensure that the result remains on the safe side. But what is to be done, however, if the complex calculation using FE models results in 300 kN as linear-elastic load-bearing capacity of a steel lattice component, and other calculation models yield more than double? What is the more reliable result?

Um diese Frage beantworten zu können, hilft oft nur noch der sorgsam instrumentierte experimentelle Belastungsversuch. Im speziellen Fall halfen 28 Dehnmessstreifen und zwei induktive Wegaufnehmer dabei, die Verformungen der Einzelstäbe sowie die Gesamtverformung des Fachwerkes aufzuzeichnen. Später können die gemessenen Dehnungen und Verformungen verwendet werden, um Rückschlüsse über die im Stab befindlichen Kräfte zu ziehen. Weiterhin kann man so erkennen, wann das Bauteil den elastischen Bereich verlässt und in den plastischen übergeht, also bleibende Verformungen erleidet. Ab einem bestimmten Punkt ist das Bauteil dann nicht mehr in der Lage, weitere Kräfte aufzunehmen, die Verformungen steigen überproportional an und der Versagensbereich ist erreicht.

Im konkreten Fall wurde der elastische Bereich bei ca. 650 kN und die Gesamttragfähigkeit bei ca. 1000 kN, also 100 Tonnen Last, erreicht. Hätte man sich in diesem Fall nur auf die theoretischen FE-Modelle verlassen, wäre ein höchst unwirtschaftliches Tragwerk das Ergebnis gewesen.

Messung der Stahldehnungen mit Dehnmessstreifen | Strain recording with strain gauges | Photo: Robert Schneider



To answer this question, an experimentally load test was necessary. In the case of this steel girder, 28 strain gauges and 2 inductive displacement transducers were applied to record the strains of the single rods and the deformation of the whole structure. With the help of these data, it is possible to calculate the forces in the single rods during loading. It also can be seen, at what load level the material reaches the end of its elastic strain capacity and passes to the plastic range, from where it comes to irreversible plastic deformations when the load is further increased. From a certain point, the component is then no longer able to absorb further forces, the deformations increase disproportionately and the failure level is reached.

In the concrete case, the elastic range was reached at approximately 650 kN and the total load bearing capacity at approximately 1000 kN, thus 100 tons load. If one had only relied on the theoretical FE models in this case, a highly uneconomical structure would have been the result.

- ▶ **Titel | Title**
Belastungsversuche an geschweißten Stahlgitterbauteilen
Load tests on welded steel lattice elements
- ▶ **Auftraggeber | Client**
LTB Leitungsbau GmbH, Radebeul
- ▶ **Zeitraum | Period**
11.2016
- ▶ **Leiter | Project leader**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
Dipl.-Ing. Robert Schneider, Heiko Wachtel, Maik Patricny, Doreen Sonntag



DAS INSTITUT



DER GRÖSSTE FEIND DES FORTSCHRITTS IST NICHT DER IRRTUM, SONDERN DIE TRÄGHEIT.

Henry Thomas Buckle

Selbstverständlich stehen Forschung und Lehre im Vordergrund bei der Arbeit am Institut – aber wenn so viele Menschen einen Großteil ihrer Zeit zusammen verbringen, ist da immer auch ein bisschen mehr. Dem wollen wir auch im Jahresbericht Rechnung tragen und einige der Dinge auflisten, die Teil unserer Bemühungen sind, das Miteinander in der täglichen Arbeit zu fördern. Die Begeisterung für das Fach leben wir selbst – aber wir binden auch den Nachwuchs ein: in Schülerprojektwochen und bei der Langen Nacht der Wissenschaften sprechen wir die zukünftigen Studentinnen und Studenten an, bei Exkursionen und in den Lehrveranstaltungen dann die Studierenden.

Beiträge z. T. aus dem BauBlog der Fakultät Bauingenieurwesen von Ulrich van Stipriaan (<http://baublog.tu-dresden.de>), von Sven Hofmann und Wolfgang Leiberg

BRÜCKEN VERBINDEN MENSCHEN

26. Dresdner Brückenbausymposium, 14. und 15. März 2016



Das voll besetzte Auditorium | Foto: Ulrich van Stipriaan

Beim größten alljährlichen Treff der Brückenbauer in Deutschland fanden sich in diesem Jahr über 1.445 Teilnehmer*innen im Audimax der TU Dresden ein. Insgesamt zwölf Vorträge spannten den Informationsbogen – von der „Suche nach der besten Lösung“ (Dr. Gero Marzahn über die Gestaltung von Brücken der Bundesfernstraßen) über ein Portrait von Ulrich Finsterwalder, dem Doyen des Brückenbaus (Prof. Cengiz Dicleli) bis zur Butterfly Bridge, der zweiflügligen Fußgänger-Klappbrücke in Kopenhagen (Dr. Karl Morgen).

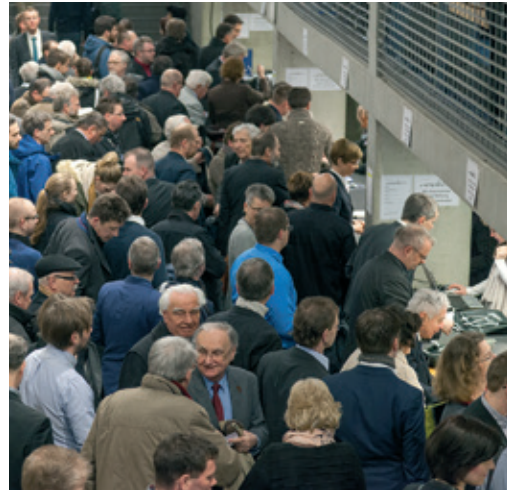
Prof. Manfred Curbach, Direktor des Instituts für Massivbau und Leiter des Dresdner Brückenbausymposiums, würdigte noch einmal die beiden Sieger des Deutschen Brückenbaupreises, der am Vorabend zum Auftakt des Dresdner Brückenbausymposiums verliehen wurde. In seinem Begrüßungsvortrag beleuchtete Prof. Curbach das Thema Wettbewerb, vom ganz

großen, lang andauernden (die Evolution des Lebens), über solche in der Wissenschaft bis hin zu denen im Alltag der Brückenbauer. Drei Dinge machte Curbach aus, die all diesen Wettbewerben gemeinsam seien:

- Die Kriterien ändern sich!
- Es gibt eine erstaunliche Vielfalt im Wettbewerb!
- Nichts ist von Dauer! Flexibilität hilft beim Überleben.

In den elf Fachbeiträgen beschäftigten sich die Referenten wieder mit der ganzen Bandbreite des Brückenbaus. Dabei erwies es sich, dass man nicht nur von den Bauern großer Brücken lernen kann – zwei Vorträge widmeten sich eher den kleinen Brücken und verblüfften das Auditorium dennoch, weil die Entwürfe kreativ und anregend sowie in einem Fall sogar unter dem vorgegebenen Budget realisiert werden konnten. Hinter dem etwas sperrigen Titel „Die

Herausforderungen und Möglichkeiten einer umfassenden Grundlagenanalyse am Beispiel des Hovenringes in Eindhoven (NL)“ verbarg sich eine spannende Analyse und Schilderung über den Bau einer Brücke für Fahrräder und Fußgänger. Dipl.-Ing. Adriaan Kok von ipv Delft creatieve ingenieurs in Delft beschrieb aber nicht nur den Hovenring in Eindhoven, eine kreisförmige und schwebende Brücke für Radfahrer und Fußgänger, sondern erläuterte auch in sehr anschaulicher Weise die Vorgehensweise des Büros. Spannend und vorbildlich: In den Niederlanden ist diese Methode übrigens Grundlage für die Richtlinien zu Planung von Brücken für Fußgänger- und Radfahrbrücken geworden. Eine englischsprachige Zusammenfassung dieser Richtlinie ist über die Webseite www.ipvdelft.nl zu bekommen.



Großer Andrang der Besucher | Foto: Ulrich van Stipriaan

Die andere kleine, nichtsdestoweniger sehr feine Brücke, stellte Dr.-Ing. Karl Morgen von WTM Engineers GmbH, Hamburg, vor. Die Butterfly Bridge in Kopenhagen ist eine von zwei kombinierten Fußgänger- und Radwegbrücken, die den Innenstadtbereich der Stadt Kopenhagen mit dem mit Kanälen durchzogenen Stadtteil Christianshavn am Ostufer der Stadt Kopenhagen verbinden. Durch die neue Anbindung hat der Innenstadtbereich eine direkte Fuß- und Radwegverbindung mit der im Jahr 2005 eröffneten Oper erhalten. Dr. Morgen erläuterte detailliert den Werdegang der beweglichen Fuß- und Radwegbrücke, die höchsten gestalterischen und technischen Ansprüchen genügt und in einem internationalen Umfeld realisiert wurde.



Karl Morgen (links) nach seinem Beitrag in der Diskussion mit Manfred Curbach | Foto: Ulrich van Stipriaan

Mit großem Interesse nutzten die Besucher die Informationsangebote der Aussteller | Foto: Ulrich van Stipriaan



PROJEKTTAG – EINE SPURENSUCHE AUF HISTORISCHEN PFADEN

Ausgehend von der Residenzstadt Dresden sind wir per Eisenbahn in die Nachbargemeinde Meißen gereist. Nach einem kleinen Picknick vor der Albrechtsburg Meißen nutzten wir die Gelegenheit, die Höhepunkte des ersten deutschen Schlossbaues zu erkunden. Im ersten Obergeschoss erwarteten uns die Festsäle und die architektonischen Besonderheiten des spätgotischen Gebäudes. Anschließend erfuhren wir in der zweiten Etage mehr über die Nutzung der Albrechtsburg Meißen als älteste Porzellanmanufaktur Europas.

Im Anschluss lockerten wir unsere Beine auf dem „Meißen Walk – Porzellan Route“, dessen anspruchsvolle Höhenunterschiede selbstverständlich keine Hindernisse für unser dynamisches Institutsteam darstellten. An dieser Stelle waren wir auch dankbar, dass die Organisatoren sich für ein weitestgehend sonniges Wetter stark gemacht hatten. Letztlich führte uns unser

Spaziergang zu Beachbar & Biergarten Meißen. Dort nutzten wir die Gunst der Stunde für einen institutionellen Wissenstransfer bei Speis und Trank und genossen den herrlichen linkselbischen Ausblick auf die Meißner Altstadt. Gesättigt und glücklich ging es wieder per Eisenbahn zurück in die Residenzstadt Dresden.

Unser Team im Innenhof der Albrechtsburg vor dem Wendelstein | Foto: Ulrich van Stipriaan



BETON ART

Beton steht für hässlich, grau, klobig. Doch das hässliche Entlein mausert sich. Mehr und mehr Künstler und Designer befassen sich mit dem scheinbar widerspenstigen Material. Auch die Künstlerin Amelie Marei Löllmann. Sie hatte am Institut für Massivbau der TU Dresden oft Gelegenheit, sich in Versuchen mit dem spröden und 'öden' Beton zu befassen. Sie entwickelte eine Serie von Wandarbeiten; Teppiche, die hängend oder auch liegend präsentiert werden können. Einen dieser Teppiche übergab die Künstlerin im Rahmen der ersten C³-Konferenz in den denkmalgeschützten Werkstätten in Dresden-Hellerau an das Institut. Der Teppich trägt den Titel: tapis concrète no. 3. Es ist ein gravierter Betonteppich mit den Maßen 169,5 cm x 80 cm x 0,5 cm (Gewicht etwa 12 kg).

Beton meets Kunst, wie dieser Wandteppich eindrucksvoll beweist | Foto: Sandra Kranich



DIE ERSTE C³-KONFERENZ WAR EIN VOLLER ERFOLG

Gespanntes Interesse, aufmerksame Zuhörer und kompetente Vortragende – das sind die Eindrücke, die man von den beiden Beratungstagen der Fachkonferenz des C³ – Carbon Concrete Composite e.V. mitnimmt. Carbonbetonforscher aus ganz Deutschland trafen sich am 8. und 9. Juni 2016 in Dresden, um ihre Arbeitsfortschritte innerhalb des gleichnamigen Bauforschungsprojektes vorzustellen und sich weiter zu vernetzen.

Mehr als 150 Teilnehmer verfolgten die Fachvorträge über den Stand und die Ergebnisse der bereits laufenden C³-Vorhaben. Den jeweiligen Vorträgen folgten angeregte Diskussionen und Gespräche.

Einen kleinen Höhepunkt abseits der „Fachsimpelei“ markierte das Gespräch mit der Künstlerin Amelie Marei Löllmann, die dem Institut für Massivbau der TU Dresden einen Teppich aus Beton zum Geschenk machte. Der Abend klang mit einem Get Together aus.



Kompetenz und Erfahrungsaustausch | Foto: Ulrich van Stipriaan



Vernetzung der Carbonbetonforscher | Foto: Sandra Kranich

VERLEIHUNG DES KURT-BEYER-PREISES

Der Kurt-Beyer-Preis wurde am 10. Juni 2016 zum 20. Mal verliehen. Preisträger des Jahres 2015 sind Dr.-Ing. Enrico Lorenz vom Institut für Massivbau der Fakultät Bauingenieurwesen, der den Preis für seine Dissertation „Endverankerung und Übergreifung textiler Bewehrungen in Betonmatrices“ erhält, und Dipl.-Ing. Julia Krafft aus der Fakultät Architektur für ihre Diplomarbeit „Grenzwertig – Segelfluggelbzentrum Lemwerder“.

Enrico Lorenz hat in akribischer wissenschaftlicher Kleinarbeit das Zusammenwirken von Betonmatrix und textiler Carbonbewehrung erforscht. Um herauszufinden, wie die textile Bewehrung sicher im Beton verankert und unter welchen Bedingungen ein Herausziehen aus der Betonmatrix verhindert werden kann, musste er ein noch unbekanntes wissenschaftliches Terrain betreten. Er tat dies zielsicher und, wie sein

Doktorvater Prof. Manfred Curbach betonte, mit einer Kombination aus theoretischer Basis, experimenteller Fundiertheit und baupraktischer Anwendbarkeit. „Dieses Dreigestirn zeichnet Enrico Lorenz' Arbeit in besonderem Maße aus“, sagte Prof. Curbach.

Die beiden Preisträger des Kurt-Beyer-Preises 2015 im Kreis der Laudatoren | Foto: Ulrich van Stipriaan



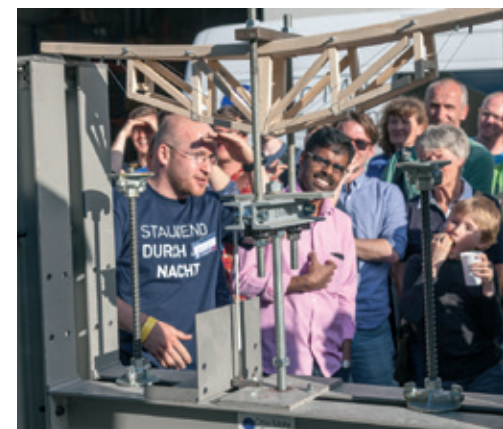
EINE SPANNENDE LANGE NACHT

Die Lange Nacht der Wissenschaften am 10. Juni 2016



Die Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften bot auch dieses Jahr der breiten Öffentlichkeit wieder die Möglichkeit, Wissenschaft hautnah zu erleben. Zirka 1.500 Besucherinnen und Besucher nutzten voller Interesse diese Chance an den Stationen der Bauingenieure. Unser Institut präsentierte sich bei idealem Wetter am neuen Standort auf der Freifläche zwischen den Laboren in der Georg-Schumann-Straße 7. Viel Interessantes wurde engagiert von unserem Team präsentiert, demonstriert und in vielen Gesprächen vermittelt – der Lohn waren fröhliche und staunende Gesichter von Jung und Alt.

Eindrücke von der Langen Nacht 2016 | Fotos: Ulrich van Stipriaan



EIN ORT IM LAND DER IDEEN: C³ – CARBON CONCRETE COMPOSITE

Friedbert Damm, Direktor der Deutschen Bank Dresden und seit über zehn Jahren hier in der Gegend Mit-Preisverleiher an die Preisträger des alljährlichen Wettbewerbs um den „Ort im Land der Ideen“, hatte ein Déjà-vu: Als er am 26. Juli 2016 zusammen mit Anja Schlottmann von der Initiative „Deutschland – Land der Ideen“ den Preis an das Forschungsprojekt C³ – Carbon Concrete Composite verlieh, erinnerte er sich an das Jahr 2009: Da war Damm Laudator beim damals ausgezeichneten Sonderforschungsbereich 528, bei dem es um textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung ging. Damals Textilbeton, heute Carbonbeton: Man erkennt die Entwicklung. Und so war die Freude groß, wieder beim Institut für Massivbau als Initiator sowohl des einen wie des anderen Forschungsprojekts zu sein. Und als Kenner der Materie verzichtete Friedbert Damm auf die vorbereitete Laudatio und sprach frei zu den Dingen, die den jetzigen Preisträger neben der wissenschaftlichen Arbeit besonders auszeichnen.

Der Wettbewerb „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“ stand 2016 nämlich unter dem Thema: „NachbarschaftInnovation – Gemeinschaft als Erfolgsmodell“ – und da ist das Konsortium des C³ mit seinen rund 140 Partnern aus Forschung und Wirtschaft vorzeigenswert. Wenn Leute aus der Praxis dabei sind, die sich natürlich ein Geschäft versprechen mit der neuen Art zu Bauen – dann sei man auf dem richtigen Weg. Damm betonte: „Gemeinsam mit einer Vielzahl unterschiedlicher Partner geht Carbon Concrete Composite neue Wege in der Bau-

branche und ermöglicht so nachhaltigeres sowie intelligentes Bauen. Carbonbeton könnte ein wichtiger Wirtschaftsfaktor für Deutschland werden.“

Das Forschungsprojekt C³ – Carbon Concrete Composite untersucht die Möglichkeit, Carbon als Alternative zu Stahl in Betonbauwerken einzusetzen. Der Werkstoff ist langlebiger, spart Ressourcen und lässt sich trotz hoher Festigkeit einfach formen. Weil Carbonbeton zudem über thermische und elektrische Leitfähigkeit verfügt, kann er Gebäude sogar intelligenter machen: etwa, indem Sensoren direkt in die Wand eingebaut werden. Der Vorstandsvorsitzende von C³ und Direktor des Instituts für Massivbau der TU Dresden, Prof. Manfred Curbach, kommentierte die Auszeichnung: „Wir sind stolz, ein ‚Ausgezeichneter Ort‘ im Land der Ideen zu sein, und freuen uns, mit unserem Projekt den Mehrwert gemeinschaftlichen Handelns herausstellen zu können. In unserem Netzwerk von Partnern aus der Wirtschaft, Forschung und Verbänden bündeln wir die Kompetenzen der gesamten Wertschöpfungskette. Durch die Auszeichnung fühlen wir uns darin bestätigt, dass durch das Zusammenwirken von gemeinsamen Kräften die Einführung von Carbonbeton auf dem Markt etabliert und ein Umdenken in der Baubranche erzielt werden kann.“



C³ – Carbon Concrete Composite ist nun ein Ort im Land der Ideen. Friedbert Damm (rechts) überreichte die Urkunde an Prof. Manfred Curbach.
| Foto: Ulrich van Stipriaan

Deutschland
Land der Ideen



BEYER-BAU ADÉ Ein Institut ist umgezogen

Unser ehrwürdiges, von uns geliebtes, aber in die Jahre gekommenes Zuhause – der Beyer-Bau – wird saniert. Was dies bedeutet, liegt auf der Hand: Unser Institut musste umziehen und zwar in das Interimsgebäude in der August-Bebel-Straße 30A. Das uni-intern genannte „Blaue Haus“ wurde aufwändig saniert und modernisiert und bietet unserem Institut auf einer kompletten Etage zeitgemäße Arbeitsbedingungen.

Der Umzug in der zweiten Augushälfte 2016 forderte von allen Beteiligten vor allem ein hohes Maß an logistischem Geschick. Dank der akribischen und professionellen Planung durch Wolfgang Leiberg lief der Umzug gut organisiert und geordnet ab. Alles war zu sortieren, zu koordinieren, zu packen, zu transportieren und am neuen Ort wieder einzurichten. Die noch nicht komplett fertiggestellten Sanierungsarbeiten machten dies nicht unbedingt leichter.

Bei einem lockeren Grillabend, der tatkräftig durch Studenten der Fachschaft der Bauingenieure unterstützt wurde, konnte kurz innegehalten und Kraft getankt werden, bevor es wieder ans Räumen ging. Aber es ist geschafft und alle haben sich mit der neuen Wirkungsstätte bereits anfreunden können.



Umzugsimpression | Foto: Ulrich van Stipriaan

EINE SCHWUNGVOLLE PRÄSENTATION

Cara und das Carbonbetonkleid waren auf dem Dresdner Neumarkt mehr als gefragt! Am 7. Juli 2016 wurde offiziell die Open-Air-Wissenschaftsausstellung von DRESDEN-concept eröffnet. Oberbürgermeister Dirk Hilbert und der Rektor der TU Dresden, Hans Müller-Steinhagen, waren da. Und natürlich das Team von C³ – Carbon Concrete Composite e.V.. Mit einem Kleid aus Carbonbeton haben wir für reichlich Aufregung gesorgt. So konnte auch der Oberbürgermeister Dirk Hilbert nicht einfach an unserem Stand vorbeilaufen. Das 2,5 kg leichte Kleid verdeutlicht auf ungewöhnliche Weise, was die Materialkombination aus Carbon und Hochleistungsbeton auszeichnet: nämlich Leichtigkeit, Schwung und Eleganz. Welche Besonderheiten weist Carbonbeton auf, wo liegen die Unterschiede und in welchen Bereichen kann er angewendet werden? Antworten auf diese Fragen warteten auf die Besucher der DRESDEN-concept (DDc) Wissenschaftsausstellung, die

bis zum 3. Oktober 2016 auf dem Dresdner Neumarkt mit wissenschaftlichen Highlights begeisterte. Filme, spielerische Elemente für alle Altersgruppen und Texte in Deutsch und Englisch informierten Interessierte über zwölf aktuelle Themen in der wissenschaftlichen Landschaft und das rund um die Uhr, bei jedem Wetter und kostenlos.



Dr. Matthias Liebold erläuterte, was den innovativen Baustoff ausmacht | Foto: Sandra Kranich

IDEEN WERDEN ZU KUNST

Beim „Betonkunst-Tag“ im Otto-Mohr-Laboratorium war Kreativität gefragt



Die Kreativität und die Freude am Gestalten sind deutlich erkennbar.
| Fotos: Kathrin Dietz

Der Aufruf an die Mitarbeiter*innen unseres Instituts, im Rahmen einer Werkstatt eigene Betonkunst herzustellen, stieß sofort auf großes Interesse. War hier doch einmal – zwar mit dem gewohnten Material Beton, aber auf einem ganz anderen Gebiet – die eigene Kreativität gefragt.

Damit alle ihre Ideen und Vorstellungen umsetzen konnten, wurde einiges an Know-how (Werkzeuge, Schalungen, Material) benötigt. Im Otto-Mohr-Laboratorium standen Räumlichkeiten, Equipment und fachliche Hilfestellung durch Jens Hohensee und Mario Polke-Schminke bereit.

Das Interesse an dieser Werkstatt am 10. und 11. August war so groß, dass wir die „Künstler“ in zwei Gruppen aufteilen mussten. Die Ergebnisse dieser beiden Tage können sich sehen lassen. Es sind Skulpturen, Vogeltränken, Wandbilder, Schalen mit Blattreliefs, sogar Bierkrüge und Kleinmöbel entstanden.

Nach getaner künstlerischer Arbeit belohnten wir uns mit den vielen mitgebrachten Leckereien und Getränken in gemütlicher Runde. Über eine Wiederholung dieser Werkstatt wird bereits „laut“ nachgedacht.



FESTKOLLOQUIUM ZUM 60. GEBURTSTAG VON MANFRED CURBACH

Am 28.09.2016 feierten wir den 60. Geburtstag von Manfred Curbach. Der Jubilar nahm am Vormittag die Glückwünsche der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts entgegen und konnte bereits einen ersten Blick in die Festschrift werfen. Im Anschluss an den Empfang des Instituts begrüßte Manfred Curbach seine mehr als 200 Gäste des Festkolloquiums und nahm deren Glückwünsche entgegen. Um 13 Uhr eröffnete der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, im Dülfersaal der Alten Mensa mit seinem Grußwort an den Jubilar das Festkolloquium. Ebenso wie in der von Prof. Harald Budelmann gehaltenen Laudatio als auch in den Festvorträgen, würdigte der Rektor die herausragenden Leistungen des Jubilars und dessen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung seines Fachgebietes. Beim abschließenden Empfang nutzen viele Gäste die Gelegenheit, mit Kollegen, Mitstreitern und Weggefährten ins Gespräch zu kommen.



Der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, eröffnet mit seinem Grußwort das Festkolloquium.



Der Jubilar Manfred Curbach nimmt Glückwünsche und Geschenke entgegen. | Fotos: Ulrich van Stipriaan

TAG DER DEUTSCHEN EINHEIT IN DRESDEN

Kein Wölkchen konnte am 3.10.2016 die gute Laune der Gäste auf dem Fest zum Tag der Deutschen Einheit in Dresden trüben. Die gelöste Stimmung auf dem Festgelände in der Dresdner Innenstadt setzte sich im Zelt der Bundesregierung auf dem Dresdner Altmarkt fort.

Dicht umringt auch der Stand des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, auf dem die Besucher sich über das BMBF-Programm „Unternehmen Region“ sowie die beiden Zwanzig20-Konsortien „fast“ und „C³ – Carbon Concrete Composite“ informieren konnten. Das Interesse für Carbonbeton und das C³-Projekt war groß. Neben den Sachinformationen kam dabei auch das Spiel

nicht zu kurz: eine Marmelbahn und ein Kicker aus Carbonbeton sorgten für Action.



Spielen mit Beton: Reges Treiben herrschte am Beton-Kicker und der Betonmarmelbahn. | Foto: Sandra Kranich

DIE ZUKUNFT HAT BEREITS BEGONNEN

Dresdner Carbonbetonforscher gewinnen den Deutschen Zukunftspreis

Die Dresdner Professoren Manfred Curbach, Chokri Cherif und Peter Offermann sind die Gewinner des Deutschen Zukunftspreises 2016, dem Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation. Bundespräsident Joachim Gauck überreichte den mit 250.000 Euro dotierten Preis am 30.11.2016 in Berlin. Das Forscherteam gehörte zu den drei Finalisten und konnte sich erfolgreich gegen seine Mitbewerber durchsetzen. „Zum ersten Mal in der Geschichte der Preisverleihung wurde ein Team aus dem Bereich des Bauwesens ausgezeichnet. Das zeigt uns, wie wichtig unsere Forschungen und unser Ansinnen sind, den so dringend notwendigen Paradigmenwechsel im Bauwesen herbeizuführen, hin zu mehr Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit“, so Manfred Curbach, Direktor des Institutes für Massivbau der TU Dresden und Sprecher des Gewinnerteams. Der Deutsche Zukunftspreis des Bundespräsidenten gehört zu den wichtigsten Wissenschaftspreisen in Deutschland. Den Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, freut es besonders: „Gratulation! Das ist ein großartiger Erfolg für die drei Professoren, für die TU Dresden und auch für den Wissenschaftsstandort Dresden. Damit gelingt es Wissenschaftlern unserer Universität nach 2011 bereits zum zweiten Mal, beginnend mit der Idee und der Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung, die Entstehung zukunftsweisender Innovation nachvollziehbar zu machen und so die hochkarätige Jury des Deutschen Zukunftspreises zu überzeugen.“

Die drei Forscher der TU Dresden sind maßgebend an der Entwicklung des neuen Verbundwerkstoffs, der statt einer Stahlbewehrung auf den Einsatz von Carbon setzt, beteiligt. Carbon ist viermal leichter und sechsmal tragfähiger als Stahl. Das Potenzial des innovativen Verbundwerkstoffs ist immens. Im Gegensatz zu Stahlbeton ist Carbonbeton widerstandsfähiger und gleichzeitig beständiger, da er nicht rostet. Bauteile und Bauwerke können dünner konstruiert werden, wodurch wertvolle Ressourcen, wie

Wasser und Sand, gespart werden. Das Material lässt zudem filigrane Formen und vielfältige Einsatzbereiche zu. Beim Einsatz von Carbonbeton sind mehr als 50 % Materialeinsparung möglich. Damit geht auch die Reduzierung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes einher. Der Entwicklungsfortschritt liegt auch im Detail. Bauteile aus Carbonbeton ermöglichen eine Kombination mit Zusatzfunktionen, wie Dämmen, Heizen oder Überwachen von Gebäuden. Nicht nur im Bereich des Neubaus kann Carbonbeton eingesetzt werden. Das Material eignet sich auch hervorragend für die Verstärkung bestehender Bauwerke. Die Lebensdauer von Gebäuden, Brücken und Masten kann durch Auftragen einer dünnen Schicht Carbonbeton deutlich erhöht werden.



Prof. Peter Offermann, Prof. Manfred Curbach und Prof. Chokri Cherif (v.l.n.r.) sind die Preisträger des Deutschen Zukunftspreises 2016.
| Foto: Ansgar Pudenz/Deutscher Zukunftspreis

Die Bedeutung der Carbonbetontechnologie erkannte auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und fördert den 2014 gegründeten Verein C³ – Carbon Concrete Composite e. V. mit bis zu 43 Millionen Euro. Der C³ e. V. ist ein interdisziplinäres Netzwerk aus mehr als 150 Partnern aus den Bereichen Wirtschaft, Wissenschaft und Verbänden, die gemeinsam die Einführung des Materials auf dem Markt vorantreiben.

C³ IM MDR BEI „EINFACH GENIAL“

Ende Oktober haben wir gemeinsam mit zahlreichen C³-Partnern und dem THW Dippoldiswalde ein spannendes Experiment durchgeführt. Ein etwa zwölf Tonnen schwerer Radlader ist über etwa 10 cm dünne Carbonbetonplatten gefahren. Ob die Platten der Belastung gewachsen waren, zeigte das MDR am 15.11.2016 um 19.50 Uhr in der Sendung „Einfach Genial“.

Das Experiment wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung von THW Dippoldiswalde, BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH, Bendl Hoch- und Tiefbau GmbH, Institut für Baustoffe der TU Dresden und solidian GmbH.



12 Tonnen Gewicht sind eine hohe Belastung für die beiden Betonplatten. | Foto: Sandra Kranich

ALLE JAHRE WIEDER

Die diesjährige Weihnachtsfeier des Instituts für Massivbau fand Anfang Dezember in gemütlichem Ambiente im Otto-Mohr-Laboratorium statt. Unmittelbar neben den großen Prüfmaschinen wurde ein Bankett, bestehend aus traditionellem Dresdner Weihnachtsstollen, kleinen Naschereien, Kaffee sowie Tee aufgebaut und sorgte so für ein entspanntes Beisammensein aller Kollegen und Kolleginnen. Auch die ehemaligen Mitarbeiter/innen waren wieder eingeladen. Mit wenigen, aber dennoch aussagekräftigen Worten fasste Prof. Manfred Curbach das zurückliegende Jahr zusammen und zog dabei eine überaus positive Bilanz. Anschließend stimmte er sein Team auf das kommende Jahr ein.

Wie schon zur Tradition geworden, gab es zur Weihnachtsfeier auch einen kulturellen Beitrag. Dieses Mal gab es interessante Einblicke einer Reisegruppe, die sich in das fern östlich liegende Kirgisistan aufmachte. Neben wunderbaren Landschaftsbildern wurde auch viel über das dortige Leben und die Kultur berichtet. Kleine Anekdoten über Missgeschicke während der Wanderungen oder Planungsfehler blieben ebenfalls nicht aus und wurden schmunzelnd vom Publikum aufgenommen. Nach dem Vortrag klang der Abend bei geselligem Essen mit Bier und Glühwein ruhig aus.



Weihnachten in der Prüfhalle des OML | Foto: Kathrin Dietz



Gemütlichkeit bei Kaffee, Stollen, Gebäck und anderen Naschereien | Foto: Kathrin Dietz

PROMOTION

STEFAN KÄSEBERG

VERSTÄRKUNG VON STAHLBETONSTÜTZEN MIT KREISQUERSCHNITT DURCH UMSCHNÜRUNG MIT CFK-WERKSTOFFEN

STRENGTHENING OF EXISTING CIRCULAR REINFORCED CONCRETE COLUMNS BY CFRP CONFINEMENT

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Umschnürung von gedruckten Stahlbetonstützen mittels Kohlefasergelegen. Die durch Epoxidharz mit dem Altbeton verbundenen Kohlefasern (CFK-Umschnürung) bewirken hierbei eine starke Behinderung der Querdehnung des Betons, wodurch dieser in einen dreidimensionalen Spannungszustand versetzt wird. Die Betondruckfestigkeit kann dadurch nachträglich deutlich gesteigert und das Verformungsverhalten positiv beeinflusst werden.

Forschungsaufgabe war es, Wissenslücken und

This thesis deals with the confinement of short reinforced concrete (RC) columns by carbon-fibre-sheets (CF sheet). In doing so, the connection of concrete surface and CF sheet is enabled by an epoxy resin (CFRP confinement). Thereby, concrete's lateral expansion is efficiently restricted in cases of imposed axial compressive deformation; therefore, the elastic CFRP resisting response generates an ever increasing lateral compressive stress state on concrete, leading to structural upgrade of the member core to provide a remarkable higher concrete strength and sufficient deformability.

Versagensarten am Stahlbetonbügel: Ausknicken und Zerreißen | Failure modes of the stirrups: buckling and tearing
| Photo: Stefan Käseberg



aufgeworfene Fragen, die sich aus einer intensiven Literaturrecherche zur Thematik ergaben, zu schließen und einen eigenen Bemessungsansatz zu entwickeln.

Hierzu wurden Beton- und Stahlbetondruckglieder mit verschiedenen Abmessungen und Durchmessern sowie unterschiedlichen Längs- und Querbewehrungsgehalten hergestellt. Danach erfolgte die Umschnürung dieser Prüfkörper mit verschiedenen CFK-Materialien in variierenden Dicken und anschließende Bauteiltests in Form von weggesteuerten Druckversuchen. Neben dem Materialverhalten konnten mittels elektrischen Messsystemen, wie z. B. induktiven Wegaufnehmern sowie auf den Prüfkörpern aufgetragenen Dehnungsmessstreifen, auch die Versagenszustände zuverlässig bestimmt werden.

Die Auswertung und Interpretation der gewonnenen Daten mündete in empirischen Gleichungen zur Beschreibung der maximalen Druckfestigkeit und Dehnung von CFK-umschnürten Bauteilen aus unbewehrtem oder bewehrtem Beton.

Darüber hinaus konnten Aussagen zur tatsächlichen Bruchdehnung der eingesetzten Kohlefasern getroffen und entsprechende Abminderungsfaktoren abgeleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Datenreihen anderer Forschergruppen wurde die eigene Datenbasis vergrößert und die gewonnenen Erkenntnisse bestätigt. Als Ergebnis steht ein empirischer Bemessungsansatz zur Verfügung, der Bemessungsgleichungen zur Querschnittstragfähigkeit und zugehörigen Dehnung von CFK-umschnürten unbewehrten und bewehrten kreisrunden Stützenquerschnitten bietet. Darüber hinaus können Spannungs-Dehnungs-Beziehungen hergeleitet werden. Durch die Entwicklung von charakteristischen Bemessungsgleichungen gelingt eine einfache Implementierung in bestehende Sicherheitskonzepte. Das entwickelte Modell oder Teile davon eignen sich zur Verwendung in den zur Entstehungszeit der Dissertation vorhandenen Bemessungsvorschriften oder können zu deren Verbesserung herangezogen werden.

Research assignment was to solve open-ended questions and knowledge gaps, which unfolded during an intense literature review, and to present an own proposal of a material model.

For this, plain and reinforced concrete columns with different geometrical shape, variable diameter, and different longitudinal and transverse reinforcement elements were produced, and were confined with different CF sheets in variable thickness. Executed deformation controlled compression tests provided investigations concerning the structural behaviour of the test specimens, and electrical measurement techniques such as LVDT and strain gauges enabled a sufficient monitoring of failure modes.

The evaluation and interpretation of the received data resulted in empirical equations to predict the ultimate strength and accompanying ultimate axial strain of CFRP confined columns with and without reinforcement.

Furthermore, the tests allowed conclusions concerning the rupture strain of the deployed CFRP confinements, and led to FRP efficiency factors, capable to predict the actual ultimate strain of the reinforcing fibres.

Further data bases, which are available in literature, confirmed the own proposals. As a result, this thesis provides an empirical material model, which deals with proper design equations to predict the load bearing capacity and the deformability of CFRP confined plain and reinforced circular concrete columns. Moreover, it is possible to generate entire stress-strain curves in axial direction. Developed characteristic equations and values allow an easy implementation in existing limit state concepts. The developed model or parts of it are sufficient to be implemented in design guidelines, or they may help to enhance them.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN UND FAKTEN

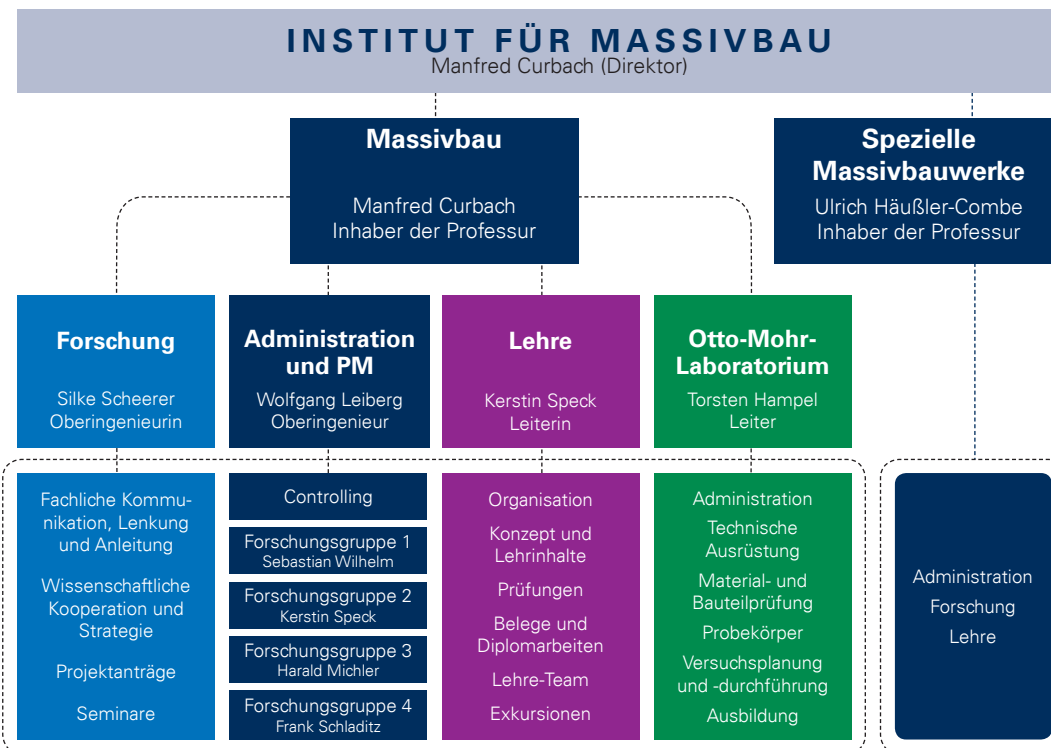
Eine Herausforderung für die Verwaltung des Instituts stellte in diesem Jahr der Auszug aus dem Beyer-Bau und der Einzug in ein rekonstruiertes Bürogebäude dar. Nicht nur der Umzug von 30 Büroräumen und der Institutsbibliothek sollte in kürzester Zeit erfolgen, auch die IT-Infrastruktur musste schnellstmöglich wieder zur Verfügung stehen. Durch enge Abstimmung mit dem Umzugsunternehmen und den Handwerkern, der tatkräftigen Hilfe aller Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und studentischen Hilfskräfte sowie gelegentliche Improvisation konnte die Beeinträchtigung der Forschungsarbeit in engen Grenzen gehalten werden. Die Belegung einer ganzen Etage des Bürogebäudes in der August-Bebel-Straße ausschließlich mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts

trägt zu einer deutlich intensiveren Kommunikation bei.

Die Grundausstattung des Instituts für Massivbau inklusive Labor bestand für das Jahr 2016 aus 44.790 € Sachmitteln, einer Bürofläche von 738 m² und einer Laborfläche von 2.442 m². Aus Haushaltsmitteln wurden 9,5 Stellen für wissenschaftliche, 10 Stellen für technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie 2 Professorenstellen finanziert. Der Drittmittelumsatz konnte annähernd auf dem Niveau des Vorjahres gehalten werden.

Die Anzahl der Plan- und Drittmittelstellen blieb im vergangenen Jahr nahezu unverändert. 2017 ist mit weiteren Einstellungen zu rechnen.

■ Organisationsstruktur des Instituts



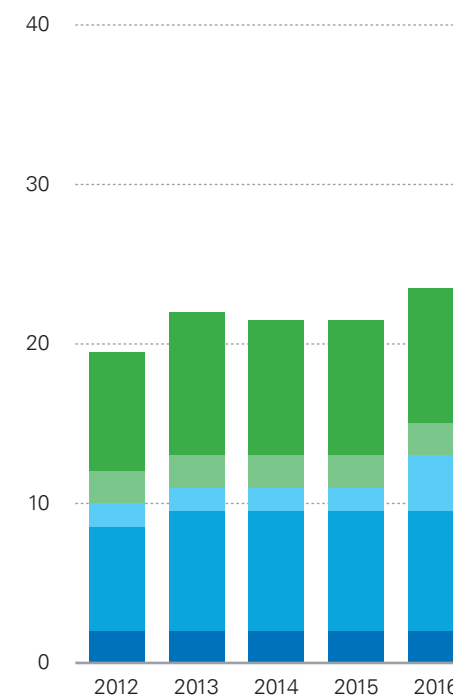
Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand 31.12.2016) | Grafik: Sven Hofmann

■ Entwicklung der Drittmittelausgaben in den Jahren 2012–2016

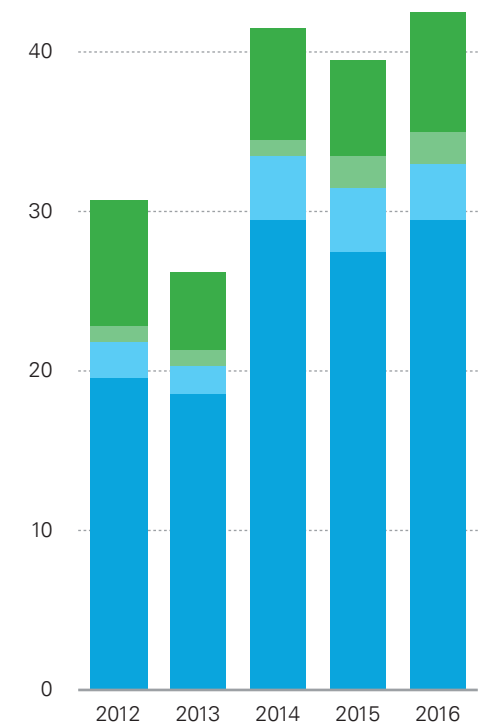
	2012	2013	2014	2015	2016
DFG	507.900 €	547.850 €	555.150 €	623.000 €	647.750 €
Bund/Länder	1.224.950 €	1.005.050 €	1.235.500 €	1.825.150 €	1.663.950 €
Stiftungen	54.650 €	18.700 €	73.100 €	95.500 €	98.600 €
Industrie	16.650 €	141.250 €	120.100 €	88.100 €	45.200 €
Gesamt	1.804.150 €	1.712.850 €	1.983.850 €	2.631.750 €	2.455.500 €

■ Planstellen und Drittmittelstellen im Jahr 2016 (Stand vom 31.12.2016)

Haushaltsmittel



Drittmittel



■ Technische Mitarbeiter Institut
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter Institut
■ Professoren
■ Technische Mitarbeiter Otto-Mohr-Laboratorium
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter Otto-Mohr-Laboratorium

■ Leistungen in der Forschung

Umfangreichstes Forschungsfeld bleibt die Erforschung und Anwendung von Carbonbeton. Die Anfang 2015 begonnenen Basisprojekte wurden 2016 fast alle abgeschlossen. Es folgte die Konzeption, Abstimmung und Beantragung der auf diesen Basisvorhaben aufbauenden Verbund- und Einzelvorhaben. Neben der Forschungstätigkeit stellt die fachliche und organisatorische Koordination von Vorhaben mit bis zu 15 Partnern hohe Anforderungen an unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Die zeitnahe Reaktion auf neue Ergebnisse in eige-

nen wie auch verbundenen Projekten ist wichtig und bedarf einer ständigen Kommunikation. Das DFG-Schwerpunktprogramm 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“, welches wir koordinieren und innerhalb dessen wir zwei Teilprojekte bearbeiten, befindet sich in der zweiten Förderphase ebenso wie das Projekt „Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)“.

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2016 bearbeitet wurden.

► Wissenschaftlich-Technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns

Auftraggeber: Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern
 Laufzeit: 01.05.2011–30.06.2017

► Schwerpunktprogramm 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“

TP: Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1
 01.10.2014–30.09.2017 – Phase 2

► Schwerpunktprogramm 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“

TP: Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1
 01.10.2014–30.09.2017 – Phase 2

► Schwerpunktprogramm 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“

TP: Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.10.2011–31.10.2014 – Phase 1
 01.11.2014–31.10.2017 – Phase 2

► Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen

Förderer: DAfStb
 Laufzeit: 01.01.2012–30.04.2016

► DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.03.2012–28.02.2014 – Phase 1
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 2

► Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.07.2012–31.12.2014 – Phase 1A
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 1B

► ROBEX – Robotische Erkundung unter Extrembedingungen

Förderer: Helmholtz-Gemeinschaft
 Laufzeit: 01.10.2012–30.09.2017

► Experimentelle Untersuchung des Verhaltens von Stahlbetonplatten unter Impaktbelastung

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.07.2013–30.06.2016

► Kompakthöchstspannungsmasten und -Traversen (KoHöMaT)

TP: Untersuchungen zum Einfluss elektrischer, thermischer und mechanischer Belastung auf die Materialparameter sowie zur elektrischen Lebensdauer des bewehrten UHPC

Förderer: BMWi
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.10.2013–31.03.2016

► Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen

Förderer: DFG (Zukunftskonzept TU Dresden)
 Laufzeit: 01.10.2013–31.10.2017

► Produkt- und Verfahrensentwicklung von leichten tragenden Deckenelementen aus textilbewehrtem Beton für das Bauen im Bestand

TP: Entwicklung von Bemessungs- und Simulationsmodellen für leichte tragende Deckenelemente aus textilbewehrtem Beton und deren experimentelle Nachweise

Förderer: BMWi
 Projektträger: AiF Projekt GmbH
 Laufzeit: 01.07.2014–30.09.2016

► Wachstumskern Autartec – Verbundprojekt 1: Funktionsintegrierte Bauelemente aus Textilbeton

TP 1.6: Experimentelle Untersuchungen zur Prüfung und Entwicklung von Materialien im Bereich des Textilbetons sowie funktionspezifische Bauteilprüfungen an Textilbetonelementen

Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.09.2014–31.08.2017

► **Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.10.2014–30.09.2017

► **Zweiachiale Betondruckfestigkeit unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.10.2014–30.09.2017

► **Willy Gehler (1876–1953): Spitzenforschung, politische Selbstmobilisierung und historische Rezeption eines bedeutenden Bauingenieurs und Hochschullehrers im Jahrhundert der Extreme**

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.11.2014–31.10.2017

► **C3-B3: Konstruktionsgrundsätze, Sicherheits- und Bemessungskonzepte sowie standardisierte Prüfmethode für Carbonbeton**

TP C3-B3-I-a: Entwicklung von Bemessungs- und Sicherheitskonzepten sowie standardisierter Prüfkonzerte zur Materialcharakterisierung von Carbonbeton
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.01.2015–30.06.2016

► **Materialeffiziente und praxisgerechte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheiten**

Förderer: BMWi
 Projektträger: AiF e.V.
 Laufzeit: 01.01.2015–31.12.2017

► **C3-B1: Beschichtungen und Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau**

TP: C3-B1-I-c: Anforderungen an Bewehrungsstrukturen sowie Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen Textil und Beton
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2015–31.01.2017

► **C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von Carbon Concrete Composite – C³**

Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.07.2015–31.12.2019

► **Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung**

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.09.2015–31.08.2017

► **C3-V1.1: Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton**

TP C3-V1.1-X-d: Untersuchung von Nachbehandlungsmethoden zur Sicherstellung einer dauerhaften Oberfläche und Beitrag zur Konstruktion von An- und Einbauteilen für Carbonbeton
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.12.2015–31.03.2018

► **C3-V1.2: Nachweis- und Prüfkonzerte für Normen und Zulassungen**

TP C3-V1.2-I-a: Erstellung und Überprüfung von Sicherheits- und Bemessungskonzerten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.01.2016–30.04.2018

► **C3-V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen**

TP C3-V1.5-I-d: Konzeption Großbauteile und Lastenheft „Herstellung“
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.03.2016–30.06.2018

► **Textilverstärkte Betonkonstruktionen für Impaktbeanspruchungen**

Förderer: BMWi
 Projektträger: AiF e.V.
 Laufzeit: 01.06.2016–30.11.2018

► **C3-V4.2 Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke**

C3-4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spannverfahren ohne Verbund
 Förderer: BMBF
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2016–30.04.2019

► **WinConFat – Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung**

TP: Verbund bei Zugschwellbeanspruchung
 Förderer: BMWi
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.11.2016–31.10.2019

■ Wichtige Publikationen

Frenzel, M.; Curbach, M.: Tragverhalten von geschichteten Deckenelementen aus Normal- und Porenleichtbeton. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 12, S. 828–839

Häußler-Combe, U.; Panteki, E.: Modeling of Concrete Spallation with Damaged Viscoelasticity and Retarded Damage. International Journal of Solids and Structures 90 (2016), pp. 153–166
DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.03.022

Kühn, T.; Schmitt, D.; Millon, O.; Häntzschel, T.; Stolz, A.; Curbach, M.; Thoma, K.: Messtechnische Herausforderungen bei der Analyse von hochdynamischen Aufprallbeanspruchungen. Bautechnik 93 (2016) 10, S. 717–724 – DOI: 10.1002/bate.201600055

■ Wichtige Konferenzbeiträge

Beckmann, B.; Schick Tanz, K.; Curbach, C.: Fracture simulation of concrete components using discrete elements. In: Proc. of EMMC15 – 15th European Mechanics of Materials Conference, 7.–9.9.2016, Brussels (Belgium), 2016, p. 181 (abstract, published on USB-stick)

Häußler-Combe, U.; Panteki, E.; Kühn, T.; Quast, M.: Simulation of Dynamic Fracture of Concrete with Damaged Viscoelasticity and Retarded Damage. In: Saouma, V.; Bolander, J.; Landis, E. (Eds.): Proc. of FraMCoS-9 – 9th Int. Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, 29.5.–1.6.2016 in Berkeley, 2016, 12 pages (full paper online) – DOI: 10.21012/FC9.091

Hering, M.; Kühn, T.; Curbach, M.; Häußler-Combe, U.: Reinforced concrete slabs under impact – scale effects. In: Beushausen, H. (Ed.): Performance-based approaches for concrete structures – Proc. of the fib Symposium 2016, 21.–23.11.2016 in Cape Town (South Africa), 2016, pp. 177/178 (short paper; full paper on CD, 10 pages)

Ritter, R.; Curbach, M.: Shape of Hypersurface of Concrete under Multiaxial Loading. ACI Materials Journal 113 (2016) 1, pp. 55–65

Schmidt, A.; Curbach, M.: Zentrische Druckversuche an schlanken UHPC-Stützen. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 9, S. 588–602

Wilhelm, S.; Curbach, M.: Experimental and non-linear numerical analysis of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC). Structural Concrete, accepted manuscript online: 10.6.2016

Quast, M.; Hering, M.; Curbach, M.: Concrete under Dynamic Multiaxial Compressive Loading – A Current State of the Art. In: Forquin, P.; Saletti, D. (Eds.): Proc. of DYMAT 22nd Technical Meeting, 19.–21.10.2016 in Grenoble (France), 2016, pp. 54/55 (extended abstract; published digitally on USB stick)

Tietze, M.; Schladitz, F.; Kahnt, A.; Curbach, M.: Modular Building Solutions with Carbon Reinforced Concrete. In: Bridges and Structures Sustainability – Seeking Intelligent Solutions – Proc. of IABSE Conference, 8.–11.5.2016 in Guangzhou (China), 2016, pp. 242/243 (abstract; full paper on USB, 9 pages)

Wilhelm, S.; Curbach, M.: Development of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC) and long-term testing at the arctic sea. In: MTS/IEEE (Eds.): Proc. of OCEANS’16, 19.–23.9.2016 in Monterey (California, USA), 2016, 6 pages (published digitally on CD)

■ Leistungen in der Lehre

Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2015/2016

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende /Betreuer	SWS	Studien-gang
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Wilhelm, Schumann	1/1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Curbach, Scheerer	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Zobel, Müller	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Curbach, Steinbock	2	BIW
Schräggabelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW, EW
Innovation Massivbrückenbau – Faszination der Vielfalt	V	–	Curbach	0,13	Studium generale
Projektarbeit	B	9.	Curbach, Frenzel, Michler, Quast, Schumann, Schütze, Speck, Steinbock, Zobel	780 h	BIW
<i>Project work</i>	<i>B</i>	4.	<i>Bochman, Curbach, Häußler-Combe, Quast, Senckpiel, Weselek, Zobel</i>	720 h	ACCESS

Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2016

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende /Betreuer	SWS	Studien-gang
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Wilhelm, Schumann	2/2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Scheerer, A. Schmidt	2/2	BWA, WING-MA
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Scheerer, Bochmann, Hering, Michler, Quast, Schneider, Speck, Steinbock	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Zobel, Müller	1,5	BIW

Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2016

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende /Betreuer	SWS	Studien-gang
Mess- und Versuchstechnik	V/Ü	8.	Schneider	1/0,5	BIW
Schräggabelbrücken	V	8.	Svensson	1	BIW
Spezialbauwerke des Wasserwesens	V	8.	Häußler-Combe	1	BIW
Computational Engineering im Massivbau	V/Ü	8.	Häußler-Combe	2/1	BIW
<i>Design of Concrete Structures</i>	V/Ü	2.	<i>Garibaldi, Michler</i>	2/1	ACCESS
<i>Computational Methods for Reinforced Concrete Structures</i>	V/Ü	2.	<i>Häußler-Combe</i>	2/1	ACCESS
<i>Cable stayed bridges</i>	V/Ü	2.	<i>Svensson, Garibaldi</i>	2/1	ACCESS

Studienjahr Academic year	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16
Projektarbeiten	7	6	7	7	11	17	22	13
<i>Project Works</i>				7	14	11	16	7
Bachelorarbeiten <i>Bachelor theses</i>							1	
Diplomarbeiten <i>Diploma</i>	5	5	7	9	11	19	17	26
Masterarbeiten <i>Master's theses</i>	1	2		1	5	12	10	15

■ Wissenschaftlicher Nachwuchs

Promotionen am Institut 2016

Stefan Käseberg

Verstärkung von Stahlbetonstützen mit Kreisquer-schnitt durch Umschnürung mit CFK-Werkstoffen

Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2010–2016

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Promotionen	1	5	1	2	4	1	1

Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2010–2016

Promotionen	1	5	1	2	4	1	1
-------------	---	---	---	---	---	---	---

■ Austausch und Zusammenarbeit

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Manfred Curbach**, ist Mitherausgeber der Schriftenreihe *Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (KID)* sowie Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift *Beton- und Stahlbetonbau*.

Professor Curbach ist Mitglied der Thüringer Programmkommission im Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (TMBWK), Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates der Bundesanstalt für Wasserbau, Mitglied im Materialforschungsverbund Dresden e.V., Mitglied im Fachgremium Konstruktiver Ingenieurbau der IHK Dresden, Mitglied des Forschungsbeirats der TU Kaiserslautern, Mitglied des Fachkollegiums Bauwesen und Architektur der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Mitglied der Ständigen Kommission für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs der Hochschulrektorenkonferenz HRK, Ordentliches Mitglied in der Technikwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Nationaler Delegierter des fib für Deutschland, Convenor der fib Task Group 1.6 *History of Concrete Structures* und seit Juni 2013 Mitglied in der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina.

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute wurden verschiedene Gutachten erstellt, z. B.:

- Gutachten im Berufungsverfahren Massivbau TU Kaiserslautern
- Gutachten für eine Stiftungs-Juniorprofessur der Universität Stuttgart
- Stellungnahme für das BMWi zum Angebot „Erweiterung der Berechnungsverfahren zur Lebensdauerbestimmung metallischer Komponenten (Teilvorhaben im Verbundvorhaben „MibaLeb“)“
- Stellungnahme für das BMWi zum Angebot „Methoden zur Simulation stoßbeanspruchter Stahlbetonstrukturen unter besonderer Berücksichtigung induzierter Erschütterungen“

Der Inhaber des Lehrstuhls für Spezielle Massivbauwerke, Prof. Dr.-Ing. habil. **Ulrich Häußler-Combe**, ist Auslandsbeauftragter der Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden, Mitglied der Graduiertenkommission der TU Dresden und Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät Bauingenieurwesen. Außerhalb der Technischen Universität Dresden ist Professor Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in der German Association for Computational Mechanics und in der Deutschen Gesellschaft für Erdbeningenieurwesen und Baudynamik.

Als ausgewiesener Fachmann veröffentlichte er 2014 bei Ernst & Sohn das Fachbuch *Numerical Methods for Reinforced Concrete Structures*. Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe arbeitet eng mit Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger, TU München, und Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, TU München, zusammen.

PUBLIKATIONEN



| Foto: Sven Hofmann

■ Monografien

- C³ – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband zur C³-Konferenz, 8./9.6.2016 in Dresden, Dresden: C³ – Carbon Concrete Composite e. V., 2016, 116 S.
- Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium. 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, 313 S.
- Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2015 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, 160 S.
- Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, 344 S.

■ Ausgewählte Forschungsberichte

- Curbach, M.; Wellner, S.; Schneider, R.; Hampel, T.: Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen. Abschlussbericht zum DAfStb-Forschungsvorhaben V 476, Institut für Massivbau der TU Dresden und Otto-Mohr-Laboratorium, 2016, 60 S.
- Just, M.; Curbach, M.; Kühn, T.; Hering, M.: Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufliegende Behälter (Flugzeugtanks); Phase 1A: Maßstabeffekte bei stoßartiger Beanspruchung. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501438, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 1/2016, 208 S.
- Speck, K.; Curbach, M.: Schlussbericht 03ET7516F. Abschlussbericht zum Energie- und Klimafonds-Verbundvorhaben Kompakthöchstspannungsmasten und -Traversen (KoHöMaT), gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 10/2016, 34 S.
- Zobel, R.; Curbach, M.: Modellierung des Verbundverhaltens von Beton- und Spannstahl unter Querzug. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501428, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 7/2016, 166 S.

■ Beiträge in Zeitschriften oder Monografien

- Curbach, M.: What European history, legendary bridges and the design of the Euro have in common. In: Rubens, R.; Van Dyck, M. (Eds.): SARTONIANA 29, Ghent: Sartori Chair of History of Sciences, Ghent University (Belgium), 2016, pp. 157–177 – Zweitabdruck des englischsprachigen Teils aus: Curbach, M.: Sieben Brücken – Brücken for Europe. Marginalien, Bd. 1, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2015, 44 S.
- Curbach, M.: Raus aus dem Elfenbeinturm. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 12, S. 783
- Curbach, M.; Frenzel, M.: Building in the context of existing structures: Designing textile-reinforced structural concrete elements under bending stress – theoretical basics and practical application. BFT International 82 (2016) 2, S. 180–182 [Proc. der 60. Betontage, 23.–25.2.2016 in Neu-Ulm]
- Curbach, M.: Joint project: Carbon Concrete Composite. Preliminary results for field application. BFT International 82 (2016) 2, S. 12/13 [Proc. der 60. Betontage und Vortrag, 23.–25.2.2016 in Neu-Ulm]
- Frenzel, M.; Curbach, M.: Tragverhalten von geschichteten Deckenelementen aus Normal- und Porenleichtbeton. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 12, S. 828–839
- Häußler-Combe, U.: Aspekte der Modellierung von Stahlbetontragwerken. In: Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 104–119
- Häußler-Combe, U.; Panteki, E.: Modeling of Concrete Spallation with Damaged Viscoelasticity and Retarded Damage. International Journal of Solids and Structures 90 (2016), pp. 153–166 – DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.03.022
- Kahnt, A.; Schladitz, F.; Tietze, M.; Lieboldt, M.; Curbach, M.: C³-Carbonbeton – Eine Materialkombination für die Zukunft des Bauens. BWI – BetonWerk International (2016) 6, S. 22–28
- Kahnt, A.; Schladitz, F.; Tietze, M.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Carbonbeton – Hochleistungsbaustoff mit Effizienzpotenzial / Carbon Concrete – a High-Performance Material with Great Efficiency Potential. DETAIL (2016) 4, S. 302–308 und best of DETAIL Material + Oberfläche (2016), S. 41–47
- Kühn, T.; Schmitt, D.; Millon, O.; Häntzschel, T.; Stolz, A.; Curbach, M.; Thoma, K.: Messtechnische Herausforderungen bei der Analyse von hochdynamischen Aufprallbeanspruchungen. Bautechnik 93 (2016) 10, S. 717–724 – DOI: 10.1002/bate.201600055
- Kühn, T.; Steinke, Chr.; Sile, Z.; Zreid, I.; Kaliske, M.; Curbach, M.: Dynamische Eigenschaften von Beton im Experiment und in der Simulation. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 1, S. 41–50 – DOI: 10.1002/best.201500053
- Lieboldt, M.; Schladitz, F.: Leichter bauen mit Beton. Baustoffpraxis (2016) 4, S. 16–18
- Máca, P.; Panteki, E.; Curbach, M.: Bond Stress-slip behaviour of concrete and steel under high-loading rates. International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements 4 (2016) 3, pp. 221–230 – DOI: 10.2495/CMEM-V4-N3-221-230 [Proc. of SUSI 2016 – 14th International Conference on Structures under Shock and Impact, 24.–26.5.2016 in Heraklion (Crete, Greece)]
- Michler, H.: Carbonbeton im Brückenbau – Verstärken und Schützen. TUDALIT-Magazin 15 (2016), S. 10 [Tagungsband zur 8. Anwendertagung Textilbeton, 21./22.9.2016 in Augsburg]
- Müller, E.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Strengthening of existing concrete structures: Design models. In: Triantafillou, T. C. (Ed.): Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Amsterdam et al.: Woodhead Publishing / Elsevier, 2016, pp. 323–359 – doi:10.1016/B978-1-78242-446-8.00015-X
- Ritter, R.; Curbach, M.: Shape of Hypersurface of Concrete under Multiaxial Loading. ACI Materials Journal 113 (2016) 1, pp. 55–65
- Schacht, G.; Bolle, G.; Curbach, M.; Marx, S.: Experimentelle Bewertung der Schubtragsicherheit von Stahlbetonbauteilen. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 6, S. 343–354
- Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Fotos): Massivbau an der TU Dresden gestern und heute. In: Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 292–319
- Schladitz, F.: Der Werkstoff für den Leichtbau. Dresdner Transferbrief 23 (2016) 1, S. 14 – URL: <http://openaccess.tu-dresden.de/ojs/index.php/ddtr/article/view/317/219>
- Schladitz, F.; Lieboldt, M.: Carbonbeton – Praxis und Forschung. OiB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik (2016) 3, S. 18–21
- Schladitz, F.; Müller, E.; Curbach, M.: Von Forschung zur Praxis – Carbonbeton. In: Jahn, Ch. (Hrsg.): Jahrbuch Beton Bauteile Edition 2017, 65. Ausg., Gütersloh: Bauverlag BV, 2016, S. 116–121

- Schladitz, F.; Schlüter, D.: Multifunktionaler Carbonbeton – Mehr als nur ein Baumaterial. Dresdner Transferbrief 23 (2016) 1, S. 15 – URL: <http://openaccess.tu-dresden.de/ojs/index.php/ddtr/article/view/318/220>
- Schmidt, A.; Curbach, M.: Zentrische Druckversuche an schlanken UHPC-Stützen. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 9, S. 588–602
- Schmidt, A.: Die eingeschlichenen Fehler. In: Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 320–325
- Steinbock, O.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Der Umgang mit dem Brückenbestand – Ein Vergleich zwischen Deutschland und den USA. Bauingenieur 91 (2016) 6, S. 215–226 – Zweitabdruck des Beitrags aus dem Tagungsband zum 2. Brückenkolloquium, 21./22.6.2016 in Ostfildern
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: Experimental and non-linear numerical analysis of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC). Structural Concrete, accepted manuscript online: 10.6.2016

■ Beiträge in Tagungsbänden

- Beckmann, B.; Schickanz, K.; Curbach, C.: Fracture simulation of concrete components using discrete elements. In: Proc. of EMMC15 – 15th European Mechanics of Materials Conference, 7.–9.9.2016, Brussels (Belgium), 2016, p. 181 (abstract, published on USB-stick)
- Curbach, M.: Außer Konkurrenz. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium, 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 15–19
- Curbach, M.; Tietze, M.: Carbon Concrete Composites revolutionize the building industry – Potentials and challenges. In: Proc. of Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 24./25.11.2016 in Dresden, 2016, pp. 154/155 (abstract; full paper on CD, 7 pages)
- Häussler-Combe, U.; Panteki, E.; Kühn, T.; Quast, M.: Simulation of Dynamic Fracture of Concrete with Damaged Viscoelasticity and Retarded Damage. In: Saouma, V.; Bolander, J.; Landis, E. (Eds.): Proc. of FraMCoS-9 – 9th Int. Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, 29.5.–1.6.2016 in Berkeley, 2016, 12 pages (full paper online) – DOI: 10.21012/FC9.091
- Hering, M.; Kühn, T.; Curbach, M.; Häußler-Combe, U.: Reinforced concrete slabs under impact – scale effects. In: Beushausen, H. (Ed.): Performance-based approaches for concrete structures – Proc. of the fib Symposium 2016, 21.–23.11.2016 in Cape Town (South Africa), 2016, pp. 177/178 (short paper; full paper on CD, 10 pages)
- Michler, H.: Verstärken mit Carbonbeton im Brückenbau. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium, 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 235–247
- Quast, M.; Hering, M.; Curbach, M.: Concrete under Dynamic Multiaxial Compressive Loading – A Current State of the Art. In: Forquin, P.; Saletti, D. (Eds.): Proc. of DYMAT 22nd Technical Meeting, 19.–21.10.2016 in Grenoble (France), 2016, pp. 54/55 (extended abstract; published digitally on USB stick)
- Schladitz, F.; Tietze, M.; Lieboldt, M.; Curbach, M.: Carbon and Concrete – The Future of Construction? In: Bridges and Structures Sustainability – Seeking Intelligent Solutions – Proc. of IABSE Conference, 8.–11.5.2016 in Guangzhou (China), 2016, pp. 240/241 (abstract; full paper on USB, 11 pages)
- Steinbock, O.: Brücken bauen mit Eisenbeton – Gedanken zum denkmalgerechten Umgang. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium, 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 263–271
- Steinbock, O.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Der Umgang mit dem Brückenbestand – Ein Vergleich zwischen Deutschland und den USA. In: Krieger, J.; Isecke, B. (Hrsg.): Tagungshandbuch zum 2. Brückenkolloquium, 21./22.6.2016 in Ostfildern, Ostfildern: Technische Akademie Esslingen, 2016, S. 155–167
- Tietze, M.; Schladitz, F.; Kahnt, A.; Curbach, M.: Modular Building Solutions with Carbon Reinforced Concrete. In: Bridges and Structures Sustainability – Seeking Intelligent Solutions – Proc. of IABSE Conference, 8.–11.5.2016 in Guangzhou (China), 2016, pp. 242/243 (abstract; full paper on USB, 9 pages)
- Wellner, S. (zusammengestellt): Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium, 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 283–308

- Weselek, J.; Häußler-Combe, U.: Sensitivity studies within a Reliability Analysis of Cress Sections with Carbon Concrete. In: Caspeele, R.; Taerwe, L.; Proske, D. (Eds.): Proc. of 14th International Probabilistic Workshop, 5.–7.12.2016 in Ghent (Belgium), 2016, pp. 389–405
- Wilhelm, S.; Zobel, R.: Brückenbauexkursion 2015 – Infrastrukturprojekte in Tschechien, Österreich und Deutschland. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 26. Dresdner Brückenbausymposium, 14./15.3.2016 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 273–280
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: Development of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC) and long-term testing at the arctic sea. In: MTS/IEEE (Eds.): Proc. of OCEANS'16, 19.–23.9.2016 in Monterey (California, USA), 2016, 6 pages (published digitally on CD)
- Verschiedene Kurzbeiträge in: C³ – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband zur C3-Konferenz, 8./9.6.2016 in Dresden, Dresden: C³ – Carbon Concrete Composite e. V., 2016, S. 7, 12–17, 24/25, 32/33, 50/5162/63, 72/73, 76/77, 86–89, 102–105

■ Vorträge

- Curbach, M.: Carbon Concrete Composite C³ – From idea to high performance material. 17.2.2016, Ghent (Belgium)
- Curbach, M.: Einwerbung von Drittmittel – Pflicht oder Kür. 2. Tag der Forschungsservices: Unsere Unterstützung für Ihre Projekte, 22.2.2016, TU Dresden
- Curbach, M.: Ingenieurbaukunst und Baukultur, Vom menschlichen Maß – eine Vision zur Baukultur im 21. Jahrhundert. Preisverleihung zum Deutschen Ingenieurbaupreis 2016, 26.10.2016, Berlin
- Curbach, M.: Sieben Brücken – Bridges of Europe. NuklearMedizin 2016 – 54. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V., 20.4.16, Dresden
- Curbach, M.: Stararchitekt nutzt C³ für Zukunftsbauwerk. ExpoReal, 5.10.2016, München
- Curbach, M.: Verbundprojekt C³ – erste Ergebnisse für die Praxis. 21.9.2016, Deutsches Museum München, Vorstellung der Kandidaten für den Deutschen Zukunftspreis 2016
- Curbach, M.: What European history, legendary bridges and the design of the Euro have in common. Sarton Chair Lectures, 18.2.2016, University Ghent (Belgium)
- Lieboldt, M.: C³ – Carbon Concrete Composite / Vision – Strategie – Umsetzung. Forum Architektur und Bau „Vision, gebaute Wirklichkeit und Forschung“, 13.4.2016, Haus der Wirtschaft, Stuttgart
- Lieboldt, M.: Der Einsatz von Carbonbeton in der Bauwerkserhaltung / Materialvorstellung und Beispiele aus der Praxis. Forum Inn-O-Kultur / Innovative Oberflächentechnik & Kulturgüter, 26.4.2016, GRASSI Museum für Völkerkunde, Leipzig
- Schladitz, F.: Bauen mit Carbonbeton – innovative Anwendung im Immobilienbereich. 14. Immobilien tag der Hansestadt Rostock, 2.6.2016, Rostock
- Schladitz, F.: Carbon im Bauwesen – Carbonbeton. 9. ordentliche Mitgliederversammlung des C³ – Carbon Concrete Composite e.V., 17.3.2016, Augsburg
- Schladitz, F.: Carbonbeton. Frühjahrssitzung der Fachabteilung Hochbau des Bauindustrieverbandes Sachsen/Sachsen-Anhalt e. V., 21.4.2016, Dresden
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Forschung und Praxis. Themennetworktreffen Materialwissenschaft und Werkstofftechnik der acatech, 12.4.2016, Berlin
- Schladitz, F.: Textilbewehrung als alternative Ausführungsform in der Betoninstandsetzung. Gemeinschaftsveranstaltung der Landesgütegemeinschaft Instandsetzung von Betonbauwerken Bremen-Niedersachsen e. V. und der Amtlichen Materialprüfanstalt der Freien Hansestadt Bremen, 22.9.2016, Bremen
- Schladitz, F.: Textilbeton – Zugelassenes Verfahren zur Verstärkung von Stahlbetonkonstruktionen. Schulung, Hamburgische Ingenieurkammer – Bau, 31.5.2016, Hamburg
- Schladitz, F.: Was haben Fashion und Beton gemeinsam? Lange Nacht der Wissenschaften an der TU Dresden, 10.6.2016, Dresden
- Tietze, M.: C³-Project – Carbon Concrete Composite. Vortrag beim Sonderberater für nachhaltige Entwicklung des Europäischen Zentrums für politische Strategie (EPSC), 2.5.2016, Brüssel (Belgien)
- Tietze, M.: Textilbeton – Aktueller Stand der Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten im konstruktiven Ingenieurbau. 12. Fachtagung Konstruktiver Ingenieurbau VDE-I, 29.9.2016, Berlin



TEAM

Stand: 31.12.2016

Institut für Massivbau

Professur für Massivbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma
Honorarprofessor, Fachgebiet Kurzzeitdynamik

Geschäftsführende Oberingenieurin

Dr.-Ing. Silke Scheerer

Oberingenieur Projektmanagement

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

Organisation Lehre

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Controlling / Sekretariat

Silvia Haubold (Controlling)

Sabine Hofmann (Sekretariat, SPP 1542)

Dajana Musiol (C³)

Jana Strauch (C³)

Lisa Friedrichs (C³)

Professur für Spezielle Massivbauwerke

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Sekretariat

Angela Heller

Wissenschaftliche MitarbeiterInnen

Forschungsgruppe 1: Verbund / Leicht Bauen

Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm (Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

Forschungsgruppe 2: UHPC / DEM / Impakt

Dr.-Ing. Kerstin Speck (Forschungsgruppenleiterin)

Dr.-Ing. Birgit Beckmann

Dipl.-Ing. Jakob Bochmann

Dipl.-Ing. Marcus Hering

Tino Kühn M.Sc.

M.Eng. Petr Máca

Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki

Dipl.-Ing. Matthias Quast

Forschungsgruppe 3: Textilbeton

Dr.-Ing. Harald Michler (Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Dipl.-Ing. Karoline Holz

Dipl.-Ing. Daniel Karl

Dipl.-Ing. Sebastian May

Dipl.-Ing. Egbert Müller

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann

Dipl.-Ing. Jan Panzer

Dipl.-Ing. Robert Schneider

Dr.-Ing. Thoralf Schober

Dipl.-Ing. Alexander Schumann

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel

Dipl.-Ing. Juliane Wagner

Dipl.-Ing. Jörg Weselek

Dipl.-Ing. Robert Zobel

Forschungsgruppe 4: Carbonbeton

Dr.-Ing. Frank Schladitz (Forschungsgruppenleiter)

Sandra Kranich M.A.

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stefan Minar M.Sc.

Dipl.-Sprachmittlerin Angela Reute

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

Technische Mitarbeiter / Öffentlichkeitsarbeit

Matthias Zagermann

Ulrich van Stipriaan M.A.

Sven Hofmann

Otto-Mohr-Laboratorium

Leiter

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Stellvertreterin

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

Sekretariat

Petra Kahle

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

Technische MitarbeiterInnen

Rainer Belger

Heiko Günther

Thomas Häntzschel

Jens Hohensee

Tino Jänke

Michael Liebe

Maik Patricny

Annett Pöhland

Mario Polke-Schminke

Doreen Sonntag

Andreas Thieme

Heiko Wachtel

Bernd Wehner

DANK AN UNSERE FÖRDERER

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



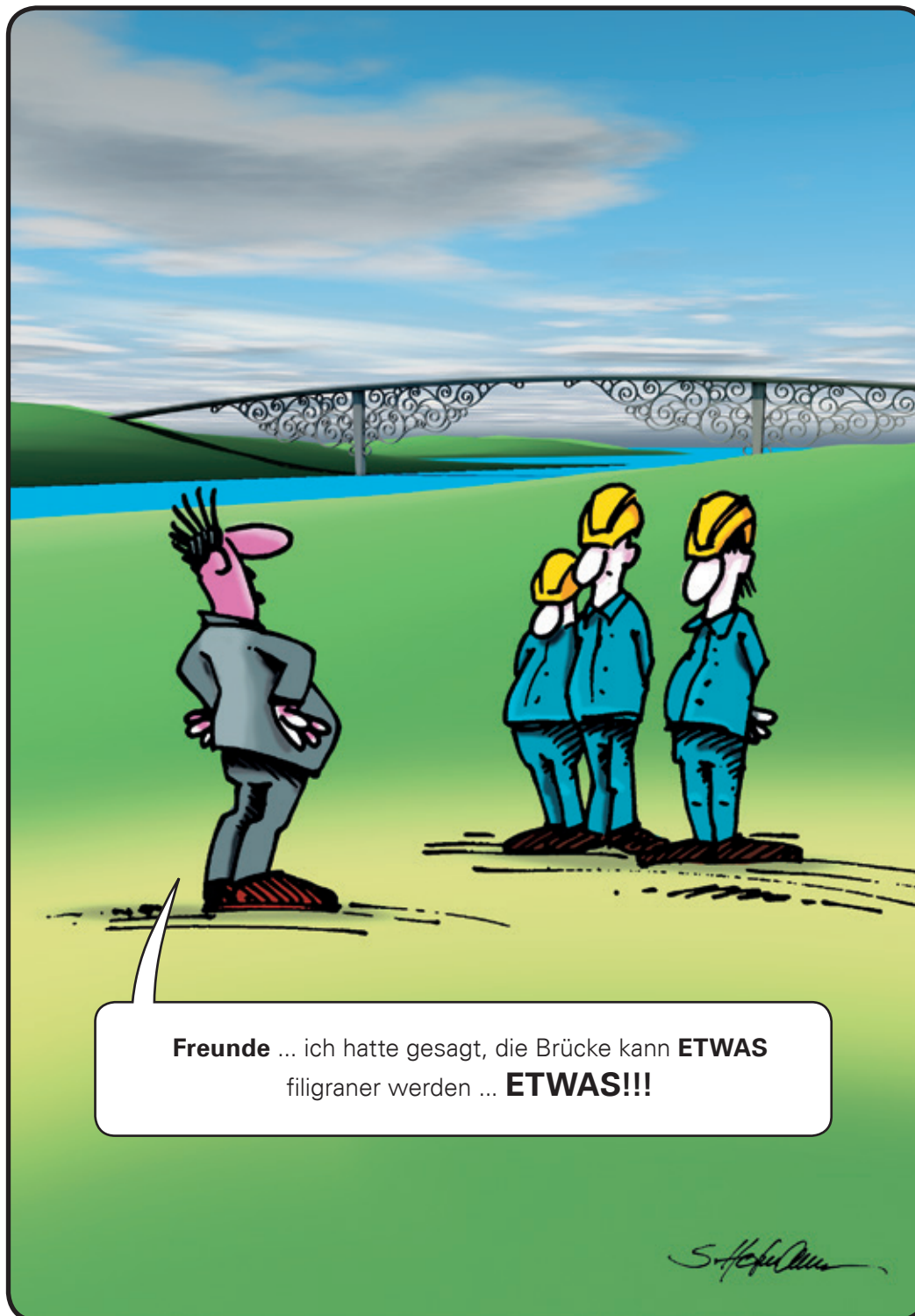
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern



HELMHOLTZ
| GEMEINSCHAFT



CARBONBETON IM BRÜCKENBAU



Impressum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Besucheradresse:
August-Bebel-Straße 30/30A
01219 Dresden

Postadresse:
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Paketadresse:
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Tel. +49 351 463-36568
Fax +49 351 463-37289

sabine.hofmann@tu-dresden.de
www.massivbau.tu-dresden.de

Redaktion

Silke Scheerer

Texte

Birgit Beckmann, Jakob Bochmann, Manfred Curbach, Michael Frenzel, Ulrich Häußler-Combe, Maria Patricia Garibaldi, Marcus Hering, Sven Hofmann, Karoline Holz, Sandra Kranich, Tino Kühn, Wolfgang Leiberg, Petr Máca, Sebastian May, Egbert Müller, Siavash Namari, Frank Neumann, Matthias Quast, Evmorfia Panteki, Angela Reute, Silke Scheerer, Frank Schladitz, Angela Schmidt, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze, Tilo Senckpiel, Kerstin Speck, Oliver Steinbock, Ulrich van Stipriaan, Juliane Wagner, Sabine Wellner, Jörg Weselek, Sebastian Wilhelm, Robert Zobel

Die Kurzfassungen aller Arbeiten (Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) wurden von den jeweiligen Studierenden und Doktoranden verfasst.

Mitarbeit/Korrektur

Maria Patricia Garibaldi, Angela Heller, Petra Kahle, Kerstin Speck

Gestaltung

Sven Hofmann

Druck

addprint AG



